

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA  
Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE  
MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y  
COMBUSTIBLES

Planta satélite de GNL adaptada a “El Hierro  
100% renovable”.



Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE MINAS

Plan: 1996

Autorizo la presentación del proyecto

Planta Satélite de GNL adaptada a “El Hierro 100% Renovable”

Realizado por

GONZALO DE LA PEÑA GARCÍA-ARCICOLLAR

Dirigido por

ENRIQUE QUEROL

Firmado: Prof. Enrique Querol

Fecha: 30 septiembre 2014

## **Agradecimientos**

A mi profesor Enrique Querol, que ha dirigido este proyecto, por el apoyo prestado durante todo su desarrollo.

A mis padres, por estar a mi lado, y haberme ayudado a llegar hasta aquí.

A Andrea, compañera de estudios y fatigas, por haberme aguantado, ayudado y apoyado en los buenos y los malos momentos. Sin ella este momento no habría sido posible.

A José y Álvaro con quienes tanto he compartido durante todos estos años de carrera.

A Clara Pérez y Paco Sánchez-Sierra, compañeros y tutores de mi estancia en prácticas en Repsol, por sus sabios consejos.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VI
<b>DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	4
2.1.1 <i>Las plantas satélite en España</i> .....	5
2.2 “EL HIERRO 100% RENOVABLE” .....	7
2.3 OBJETO DEL PROYECTO .....	8
2.4 UBICACIÓN.....	8
2.5 ELEMENTOS PRINCIPALES .....	10
2.6 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE .....	10
2.7 DEFINICIONES .....	11
<b>3 EL GAS NATURAL LICUADO Y LAS PLANTAS SATELITE.....</b>	<b>12</b>
3.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL LICUADO.....	12
3.1.1 <i>Aspecto</i> .....	13
3.1.2 <i>Olor</i> .....	13
3.1.3 <i>Toxicidad</i> .....	14
3.2 COMPORTAMIENTO DEL GAS NATURAL LICUADO .....	14
3.2.1 <i>GNL no confinado</i> .....	14
3.2.2 <i>GNL confinado</i> .....	15
3.3 CADENA DE GAS NATURAL LICUADO.....	18
3.4 COMPARATIVA DEL SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO .....	20
3.5 DEFINICIÓN GENERAL DE PLANTA SATELITE .....	21
3.6 APLICACIONES DE LAS PLANTAS SATELITE .....	21
3.7 CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS SATELITE.....	22
<b>4 SUMINISTROS PROPUESTOS .....</b>	<b>22</b>
4.1 GAS NATURAL LICUADO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA .....	22
4.2 GAS NATURAL LICUADO PARA AUTOMOCIÓN .....	24
4.3 GAS NATURAL LICUADO PARA BUQUES .....	26
4.4 DEMANDA DE GNL TOTAL.....	28
<b>5 TRANSPORTE DE GAS NATURAL LICUADO.....</b>	<b>28</b>

<b>6</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.....</b>	<b>31</b>
6.1	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	31
6.2	INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE GNL.....	33
6.2.1	<i>General.....</i>	33
6.2.2	<i>Circuitos y Elementos incorporados a los depósitos.....</i>	36
6.3	INSTALACIÓN DE DESCARGA DE GNL A DEPÓSITO.....	38
6.3.1	<i>Elementos incorporados a la instalación de descarga.....</i>	39
6.4	INSTALACIÓN DE REGASIFICACIÓN DEL GNL.....	41
6.4.1	<i>Bombas criogénicas.....</i>	42
6.4.2	<i>Regasificadores atmosféricos de GNL.....</i>	43
6.4.3	<i>Regasificador de GNL de agua caliente.....</i>	45
6.5	TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN.....	49
6.6	INSTALACIONES DE SEGURIDAD.....	50
6.6.1	<i>Seguridad de avance del frío.....</i>	50
6.6.2	<i>Odorización de gas.....</i>	50
6.6.3	<i>Instalación de regulación y medida.....</i>	52
6.6.4	<i>Instalación de control y registro de parámetros.....</i>	52
6.6.5	<i>Instalación de defensa contra incendios.....</i>	53
6.6.6	<i>Instalación eléctrica.....</i>	54
<b>7</b>	<b>EMPLAZAMIENTO.....</b>	<b>55</b>
7.1	CONDICIONES GENERALES.....	55
7.2	CUBETOS DE PROTECCIÓN CONTRA DERRAMES.....	55
7.3	DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....	56
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
	<b>DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>	<b>60</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>61</b>
<b>2</b>	<b>COSTES DEL PROYECTO.....</b>	<b>61</b>
2.1	CONSUMOS.....	61
2.2	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	61
2.3	COSTES VARIABLES.....	62
2.4	COSTES FIJOS.....	62
<b>3</b>	<b>INGRESOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DEL FLUJO DE CAJA.....</b>	<b>63</b>
4.1	SUPOSICIONES REALIZADAS PARA EL ESTUDIO.....	63

4.2	FLUJOS DE CAJA ACUMULADOS .....	63
4.3	CONCLUSIONES .....	63
<b>DOCUMENTO Nº 3: ANEXOS .....</b>		<b>65</b>
<b>ANEXO 1: SELECCIÓN DE TUBERÍAS .....</b>		<b>66</b>
<b>ANEXO 2: ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>		<b>68</b>
<b>ANEXO 3: HOJAS DE DATOS DE EQUIPOS .....</b>		<b>71</b>
1	DEPÓSITO CRIOGÉNICOS.....	72
2	BOMBAS CRIOGÉNICAS.....	74
3	REGASIFICADORES ATMOSFÉRICO Y DE AGUA CALIENTE .....	76
4	CALDERAS .....	78
<b>ANEXO 4: PLANOS .....</b>		<b>80</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1: Plantas satélite en España a noviembre de 2012.</i>	6
<i>Figura 2-2: Sistema propuesto para “El Hierro 100% Renovable”.</i>	7
<i>Figura 2-3: Ubicación en la Comunidad Autónoma.</i>	9
<i>Figura 2-4: Ubicación propuesta para la planta satélite</i>	9
<i>Figura 3-1: Niebla de agua generada en una prueba de derrame de GNL.</i>	15
<i>Figura 3-2: Cadena de GNL.</i>	18
<i>Figura 3-3: Buque metanero.</i>	19
<i>Figura 3-4: Planta regasificadora de Sagunto y buque metanero.</i>	19
<i>Figura 3-5: LNG Tainer</i>	20
<i>Figura 4-1: Rentabilidad de varios tipos de combustibles en relación al kilometraje</i>	24
<i>Figura 4-2: Ubicación del emplazamiento de suministro a buques.</i>	27
<i>Figura 4-3: Sistema de GNL para buque.</i>	27
<i>Figura 4-4: Resumen de la demanda máxima diaria de GNL</i>	28
<i>Figura 5-1: Detalles de contenedores de GNL</i>	29
<i>Figura 5-2: Buque portacontenedores convencional transportando contenedores de GNL</i>	29
<i>Figura 5-3: Camión portacontenedores</i>	30
<i>Figura 6-1: Esquema planta satélite.</i>	31
<i>Figura 6-2: Depósito criogénico vertical</i>	33
<i>Figura 6-3: Datos de depósitos criogénicos serie 4200V.</i>	35
<i>Figura 6-4: Válvulas criogénicas mixtas de maniobra manual y antiretorno</i>	36
<i>Figura 6-5: Regasificador PPR</i>	37
<i>Figura 6-6: Válvulas de seguridad</i>	38
<i>Figura 6-7: Regasificador de descarga</i>	40
<i>Figura 6-8: Manguera criogénica</i>	40
<i>Figura 6-9: Válvula de seguridad de línea</i>	41
<i>Figura 6-10: Bomba criogénica.</i>	42
<i>Figura 6-11: Regasificador atmosférico vertical.</i>	43
<i>Figura 6-12: Sección de tubos de aletas de regasificadores atmosféricos</i>	44
<i>Figura 6-13: Regasificadores atmosféricos en servicio.</i>	45
<i>Figura 6-14: Regasificador de agua caliente</i>	46
<i>Figura 6-15: Sistema de calderas de agua caliente para regasificación.</i>	47
<i>Figura 6-16: Equipo de odorización.</i>	51
<i>Figura 6-17: Estación de regulación y medida.</i>	52
<i>Figura 6-18: Extintores de polvo seco.</i>	54



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 3-1: Composición en % molar, de gases naturales a la salida del pozo .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3-2: Composición en % molar, de gases naturales procedentes de GNL.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3-3: Velocidad de evaporación del GNL en función del suelo .....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3-4: Temperaturas de ebullición del metano líquido a diversas presiones de saturación.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3-5: Clasificación de las plantas satélite según su capacidad geométrica de almacenamiento.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4-1: Eficiencia de conversión y emisiones para diferentes tecnologías de generación eléctrica.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4-2: Previsiones de generación y consumo de GN y GNL equivalente.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4-3: Consumos de Gasolinas y gasóleos en la provincia de Sta. Cruz de Tenerife .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4-4: Consumos por habitante isla de El Hierro.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4-5: Consumos equivalentes de GN mensual, GNL mensual y GNL diario.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6-1: Características para diferentes volúmenes de depósitos verticales .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6-2: Relación coste depósitos y superficie ocupada serie 4200V .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6-3: Características regasificador PPR .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6-4: Características regasificador de descarga .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6-5: Características bombas criogénicas .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6-6: Características regasificadores atmosféricos .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 6-7: Características del vaporizador de GNL de agua caliente .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6-8: Resumen sistema de regasificación por agua caliente.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 6-9: Características bombas de agua.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 6-10: Características generales calderas .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 6-11: Características tuberías de GNL.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6-12: Características tuberías de GNC.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6-13: Características tuberías de agua .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 7-1: Distancias de seguridad planta satélite tipo F.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2-1: Presupuesto equipos.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 4-1: Suposiciones realizadas para el estudio económico .....</i>	<i>63</i>

## **Resumen**

"El gas natural es el combustible más adecuado para la integración con las energías renovables, tanto por la limpieza de las instalaciones, como la práctica ausencia de contaminación del aire con los productos de su combustión, la posibilidad de su almacenamiento en forma líquida o comprimida, y la tendencia de disminución de precios que se observa en los últimos años en las previsiones de BP, AIE e IEA.

El presente proyecto muestra como una pequeña instalación es capaz de solventar las deficiencias de las renovables mediante el uso del gas natural como combustible de automoción, de barcos, y para dar servicio a una planta térmica de apoyo a las indisponibilidades de la eólica e hidráulica instalada en la isla de El Hierro".

## **Abstract**

"Natural gas is the best fuel to support the renewable energy technology, both for the cleanliness of the facility, and the virtual absence of air pollution with combustion products, the possibility of storage in liquid or compressed form and the downward trend in prices seen in recent years in the estimates of BP, AIE and IEA.

This project shows how a small facility is able to solve the shortcomings of renewable energy through the use of natural gas as an automotive fuel, ships, and to serve a thermal plant to support the unavailability of wind and hydro energy installed on the island of El Hierro".

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA  
Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE  
MINAS

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y  
COMBUSTIBLES

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”.

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA



# **1 Objetivo y alcance del proyecto**

El objetivo del presente proyecto es el diseño de las instalaciones de una planta satélite de gas natural licuado junto con sus equipos complementarios para suministro de gas natural a la isla de El Hierro.

Se propone la posibilidad de un almacenamiento de gas natural licuado como consecuencia de la inexistencia de una instalación regasificadora en la isla, con la consiguiente imposibilidad de suministro de este tipo de combustible y la dependencia de la isla de otros combustibles líquidos como pueden ser el gasóleo o la gasolina.

La finalidad de esta planta satélite de gas natural licuado es la de complementar al proyecto “El Hierro 100% Renovable”, que actualmente está finalizado y en marcha, aprovechando las ventajas del gas natural frente a los principales combustibles que actualmente se suministran en la isla.

La planta satélite daría suministro de combustible tanto para generación eléctrica como para automoción y buques. Por ello se propone un cambio de funcionamiento para que estos tres sectores pudieran funcionar con gas natural en sustitución del diésel o gasolina.

## 2 Introducción

### 2.1 Antecedentes

Las primeras plantas de licuefacción de gas natural, conocidas como Peak-Shaving, se construyeron durante la década de los cuarenta en Estados Unidos, con el fin de satisfacer demandas punta del consumo en redes de distribución de gas natural saturadas. Para ello, en épocas de baja demanda el gas natural era licuado para almacenarlo en grandes depósitos criogénicos de capacidades del orden de decenas de miles de metros cúbicos. Posteriormente el gas era regasificado de nuevo y emitido a la red en épocas de demanda punta.

Las plantas satélite como tal aparecen en Estados Unidos a partir de estas plantas de licuefacción, de modo periférico y con idénticas funciones, siendo la diferencia principal su tamaño, de cientos a miles de metros cúbicos. No estaban provistas de unidades de licuefacción y se abastecían de gas natural licuado por vía terrestre con camiones cisterna o ferrocarril.

Sin embargo, después de este primer despunte, la actividad no se vuelve a reanudar hasta los últimos años de la década de los sesenta, habiendo una elevada actividad a principios de los setenta. El número de plantas instaladas en Estados Unidos fue significativo durante este periodo, llegando a construirse un total de 30 aproximadamente. A pesar de ello, su desarrollo en Europa no fue tan espectacular.

En 1997 se contabilizan plantas satélite activas en Estados Unidos (39), Japón (33), España (31), Alemania (11), Reino Unido (4), Suiza (1) y Australia(1).

Como apunte, mencionar que la que parece ser la primera planta satélite es la de Borrego Springs, en California, construida en 1968 para abastecer un parking de 300 caravanas y con dos depósitos de 23 m<sup>3</sup> y 30 m<sup>3</sup>.

En Europa probablemente sea la de Figueres, en Gerona, que entró en funcionamiento en 1970.

### **2.1.1 LAS PLANTAS SATELITE EN ESPAÑA**

En España, la idea de la expansión de consumos hacia nuevas zonas y núcleos de población a través de plantas satélite, estuvo especialmente presente en los inicios, ya que no existía una infraestructura previa de redes de gas natural.

La primera planta satélite en España se puso en servicio, como ya se ha mencionado antes, en 1970 en la ciudad de Figueres, cuando hacía menos de un año de las primeras descargas de gas natural licuado en Barcelona. Al siguiente año ya se habían instalado cuatro plantas.

#### **➤ Primer periodo (1970-1984)**

Durante este periodo la totalidad de las plantas se distribuyeron entre usuarios industriales (9) y fábricas de gas ya existentes (7), sin ninguna referencia a distribuciones doméstico-comerciales.

La mayoría de las plantas se construyeron por motivos económicos de sustitución de gas licuado de petróleo por gas natural y solo tres fueron para avanzar consumos en espera de la llegada de la red de gas natural.

Su ubicación se concentró en zonas próximas a la terminal de Barcelona al ser la única existente en la zona y por su carácter marcadamente industrial.

#### **➤ Segundo periodo (1985-1994)**

En este periodo se añadieron 11 nuevas plantas:

- Seis en industrias.
- Una en laboratorio de ENAGAS.
- Tres para fábricas de gas existentes (Lérida, Málaga y Cádiz).
- Una para distribución de gas en Albacete.

A pesar de las dos nuevas terminales de Huelva y Cartagena continuó la atonía en la construcción de nuevas plantas.

Destacar que se instala en este periodo la primera planta satélite para cogeneración (Casa Tarradellas-Vic).

### ➤ Tercer periodo (1995-1999)

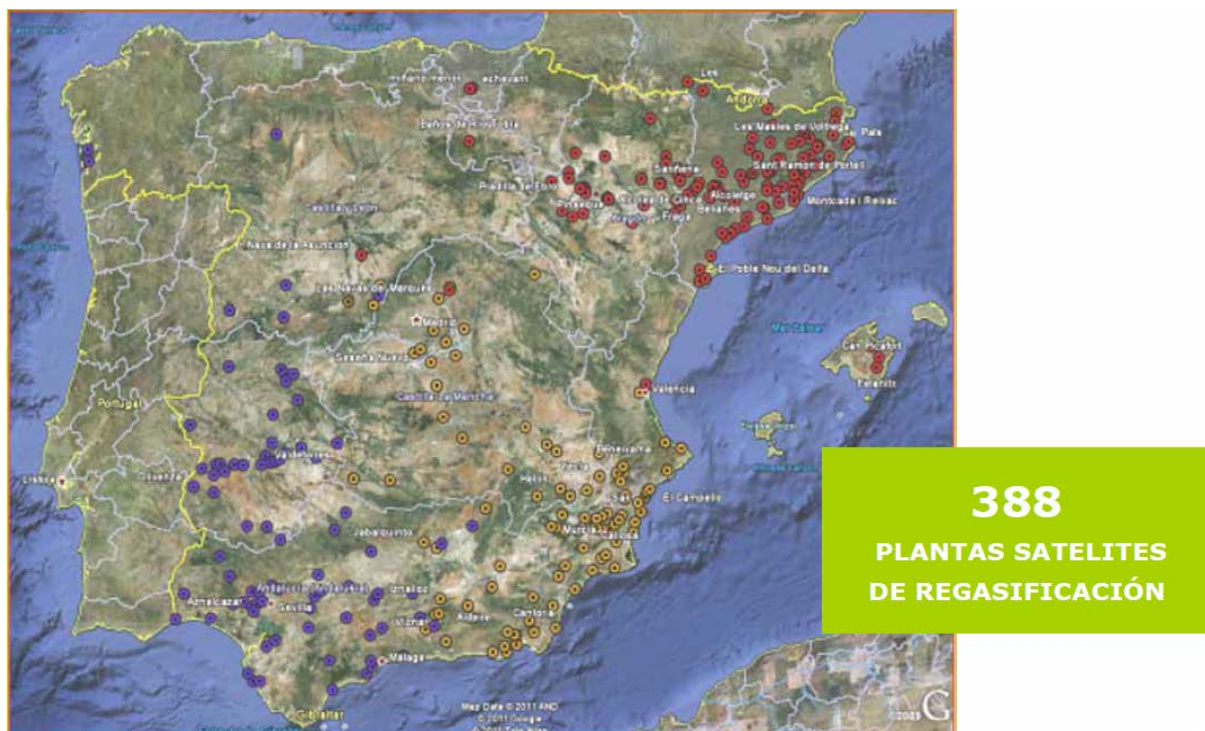
La expansión como tal comenzó en 1995, siendo creciente hasta la actualidad.

En mayo de 1999 se contabilizaron un total de 87 plantas satélite con una distribución de 19 en compañías de distribución de gas y 68 en industrias.

En octubre de 2001 el número de plantas activas era de 76 industriales y 52 distribuidoras.

A fecha de marzo de 2002, el número de plantas activas fue de 100 industriales y 58 distribuidoras.

Finalmente en noviembre de 2012 ENAGAS contabilizó un total de 388 plantas satélite de regasificación repartidas por todo el territorio nacional.



FUENTE: (Enagas, 2012)

Figura 2-1: Plantas satélite en España a noviembre de 2012.



## 2.2 “El Hierro 100% Renewable”

Es un proyecto cuyo objetivo es cubrir la demanda eléctrica de la isla de El Hierro mediante la implantación de un sistema hidroeléctrico, convirtiéndose en una isla con un autoabastecimiento eléctrico total con energías renovables. Se prevé que en las primeras fases de implantación se cubra una cuota de entre el 50% y 80% del total de la demanda.

La empresa que lleva a cabo el proyecto es Gorona del Viento S.A., que está compuesta por el Cabildo de El Hierro, Endesa y el Gobierno de Canarias.

El sistema está compuesto, como se aprecia en la Figura 2-2, por dos depósitos de agua, un parque eólico, una central hidroeléctrica, una central de bombeo y una central de motores diésel ya existente, a la cual se propone en el presente proyecto una modificación para funcionar con gas natural.



FUENTE: (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008)

Figura 2-2: Sistema propuesto para “El Hierro 100% Renewable”.

Con la central hidroeléctrica se consigue transformar una fuente de energía intermitente en un suministro controlado y constante de electricidad. La mayor parte de la energía vertida a la red de distribución de la isla proviene de la central hidroeléctrica, y la mayor parte de la

energía eólica generada se usa para alimentar el sistema de bombeo. El excedente de energía eólica se vierte directamente a la red, sirviendo para la desalación de agua en las dos plantas que tiene El Hierro para ese efecto. La central térmica solamente se usa en casos excepcionales o emergencias, cuando no haya ni viento ni agua suficiente para producir la energía demandada.

### **2.3 Objeto del proyecto**

La idea de instalar una planta satélite de gas natural licuado en la isla surge como complemento al proyecto descrito anteriormente, para dotarlo de una mayor connotación “verde”, ya que a parte de la generación eléctrica existen otros consumos de combustibles fósiles en la isla. Además, no se puede prescindir de la central térmica por motivos de emergencia en el suministro eléctrico.

El objeto de este proyecto es que la isla de El Hierro sea un territorio cuyo suministro energético sea lo más “limpio” posible.

### **2.4 Ubicación**

Como ya se viene señalando en apartados anteriores, el proyecto se ubica en la isla de El Hierro, en la provincia de Santa Cruz de Tenerife, dentro de la Comunidad Autónoma de Canarias.

Más concretamente, la planta satélite se ubicaría dentro del municipio de Valverde, junto a la central térmica de Llanos Blancos y la central hidroeléctrica y muy próxima al Puerto de la Estaca desde donde se abastecería mediante contenedores criogénicos transportados en buque portacontenedores y con el que estaría comunicada por carretera, como se puede apreciar en la Figura 2-4.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 2-3: Ubicación en la Comunidad Autónoma.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 2-4: Ubicación propuesta para la planta satélite

## 2.5 Elementos principales

En las plantas satélite, se pueden distinguir cinco tipos de instalaciones constituyentes:

- La instalación de Almacenamiento, que se constituye por uno o varios depósitos criogénicos que están preparados para almacenar el gas natural licuado.
- La instalación para descarga de cisternas. Para este fin se utilizan regasificadores, flexibles criogénicos y válvulas de maniobra.
- La instalación para regasificación del gas natural licuado a gas natural mediante aporte de calor.
- Los elementos destinados a la seguridad, regulación y odorización del gas antes de su salida de planta.
- La instalación de control y registro, cuya finalidad es medir e interpretar los parámetros de funcionamiento de la planta.

A parte de los grupos funcionales mencionados, cabe añadir otras instalaciones complementarias como pueden ser:

- De defensa contra incendios.
- De obra civil (Cubeto, vallado, etc...).
- Instalación eléctrica.
- Otras instalaciones relacionadas con la seguridad.

## 2.6 Legislación y normativa vigente

Las plantas satélite se rigen, en sus aspectos técnicos normativos y administrativos por los siguientes reglamentos y normativas:

- RD 919/2006 Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
- ITC-ICG 04 Plantas satélite de gas natural licuado (GNL)
- UNE 60210-2011 Plantas satélite de gas natural licuado (GNL).
- UNE-EN 1160 Instalaciones y equipos para GNL.

La instalación de los elementos se ha realizado de manera que se ajuste a lo que se exige en la vigente legislación.

## 2.7 Definiciones

- gas natural licuado (GNL): Líquido incoloro obtenido a partir de Gas Natural mediante sistemas de enfriamiento, compuesto predominantemente de metano y que puede contener cantidades pequeñas de etano, propano, nitrógeno u otros componentes que se encuentran normalmente en el gas natural.
- planta satélite: Conjunto de instalaciones de almacenamiento y regasificación de GNL destinadas a suministrar gas natural a consumos locales situados en zonas no abastecidas por redes de gas canalizado o a redes de distribución.
- estación de suministro de GNL o gasinera: Instalación que incluye un almacenamiento de GNL, destinada al suministro de GNL o Gas Natural Comprimido (GNC), a vehículos.
- depósito criogénico: Depósito diseñado para trabajar a temperaturas de -196 °C o inferiores, formado por el recipiente, aislamiento, envoltorios, soportes, tuberías, válvulas, manómetros, etc., para almacenar líquidos criogénicos
- cisterna: Es un vehículo con depósitos criogénicos que transporta GNL destinado a la planta satélite de GNL.
- regasificador: Equipo destinado a transformar, mediante aporte de calor, una fracción del GNL procedente de la cisterna a descargar en gas natural, para provocar un incremento de la presión de la fase gas de la propia cisterna.

## 3 El Gas Natural Licuado y las Plantas Satélite

### 3.1 Principales características del Gas Natural Licuado

Como se ha definido anteriormente, el gas natural licuado (GNL) es gas natural en estado líquido. En su proceso de licuefacción todos los gases de menos peso que el etano y el metano o con propiedades no aptas para ser licuados, como pueden ser el CO<sub>2</sub> o el SH<sub>2</sub>, son eliminados.

La composición del gas natural a la salida del pozo de extracción, varía según la localización del yacimiento (Tabla 3-1) y la planta de origen (Tabla 3-2).

Tabla 3-1: Composición en % molar, de gases naturales a la salida del pozo

ORIGEN	C1	C2	C3	C4	C5 +	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SH <sub>2</sub>	PCS MJ/kg
Hassi R'Mel Argelia	83,5	7	2	0,8	0,4	6,1	0,2	–	45,18
Mar del Norte	94,7	3	0,5	0,2	0,2	1,3	0,1	–	38,49
Groningen Holanda	81,8	2,8	0,4	0,1	0,1	14	0,8	–	35,14
Lacq Francia	69,3	3,1	1,1	0,6	0,7	0,4	9,6	15,2	33,05
Zelten Libia	66,2	19,8	10,6	2,3	0,2	0,9	–	–	46,86

FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Para mantener el gas natural en estado líquido, a presiones relativamente bajas, la temperatura de almacenamiento variará entre los -160 °C y los -140 °C en función de la mezcla de gases que contenga y su presión de servicio.

Con respecto al volumen, el gas natural tiene una relación volumétrica respecto del gas natural licuado que varía entre 540 a 600 m<sup>3</sup> en función de su composición molar. Esto quiere decir que de la regasificación de un metro cúbico de gas natural licuado se obtiene aproximadamente 540 m<sup>3</sup>(n) a 600 m<sup>3</sup>(n) de gas natural.

Tabla 3-2: Composición en % molar, de gases naturales procedentes de GNL

PLANTAS DE ORIGEN	C1	C2	C3	C4	C5 +	N <sub>2</sub>	d líquido kg/m <sup>3</sup>	Bubble Point	PCS MJ/kg
Arzew GL1Z Argelia	87,89	8,542	0,299	0,367	0,005	0,946	464,2	-161,6	43,91
Arzew GL2Z Argelia	91,241	7,372	0,001	–	–	0,881	447,25	-160,4	42,116
Arzew GL4Z Argelia	87,66	8,876	0,264	0,359	0,052	0,585	464,62	-160,93	44,358
Skikda GLK Argelia	91,581	6,676	0,143	0,049	–	1,037	450,29	-162,75	41,989
Marsa el Bre-ga Libia	83,212	11,781	0,254	0,34	–	0,863	479,29	-161,73	45,819
Das Island Abu Dhabi	85,2	13,19	0,078	0,116	–	0,374	463,64	-158,84	44,576
Qatargas Qatar	90,11	6,31	0,39	0,57	–	0,31	457	-159,4	43,85

FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

### 3.1.1 ASPECTO

Es un líquido transparente, cuya densidad es aproximadamente la mitad del agua. Su baja temperatura hace que absorba calor en los regasificadores atmosféricos, regasificándose por su superficie de contacto con la atmósfera.

Su regasificación provoca un ascenso de gas que va solidificando el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera en contacto con el exterior de los tubos, el cual pasa a ser hielo, formando una nube blanca que puede apreciarse visualmente hasta que la mezcla aire-gas natural sea superior a los 0 °C.

### 3.1.2 OLOR

Los vapores de gas natural licuado son inodoros al serlo también sus componentes (metano, etano, nitrógeno, etc.) ya que los componentes con olor, como pueden ser SH<sub>2</sub> u otros compuestos con azufre, han sido eliminados previamente en el proceso de licuefacción del gas natural en la planta de origen.

Por ello, toda planta satélite debe incorporar un equipo de odorización que mezcle estos gases inodoros con productos de olor especial y permita su fácil detección. La mezcla de odorizante (THT) se debe realizar en fase gas, después de su regasificación y antes de su salida de planta, debido a que a las bajas temperaturas del gas natural licuado cualquier odorizante solidificaría.

### 3.1.3 TOXICIDAD

Los vapores de gas natural licuado y el gas natural resultantes no son tóxicos. Sin embargo, sí que pueden ser asfixiantes si se penetra en una nube o atmósfera de ellos en función de la concentración de oxígeno remanente como se especifica en la norma UNE-EN 1160.

## 3.2 Comportamiento del gas natural licuado

### 3.2.1 GNL NO CONFINADO

Si accidentalmente se derrama gas natural licuado en el suelo, hay un periodo inicial de ebullición intensa en el que absorbe calor del suelo. Tras este periodo la velocidad de evaporación disminuye rápidamente hasta un valor constante determinado por las características térmicas del suelo, como se aprecia en la Tabla 3-3, y el calor absorbido del aire.

Tabla 3-3: Velocidad de evaporación del GNL en función del suelo

Material del suelo	kg de GNL evaporados después de 60 s del derrame, por m <sup>2</sup> de superficie mojada y hora kg/(m <sup>2</sup> ·h)
Áridos	480
Arena húmeda	240
Arena seca	195
Agua	190
Hormigón normal	130
Hormigón coloidal ligero	65

FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Inicialmente el gas de evaporación está aproximadamente a la misma temperatura que el gas natural licuado y es más denso que el aire circundante. Este gas fluirá en forma de capa sobre el suelo ayudado por el viento, si existe en ese momento, hasta que se caliente absorbiendo calor, mezclándose con el aire. Cuando la temperatura alcance los -80 °C aproximadamente, el gas pasará a tener menos densidad que el aire y ascenderá.





FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 3-1: Niebla de agua generada en una prueba de derrame de GNL

Este fenómeno será visible por la niebla blanca que se forma al helarse el vapor de agua contenido en el aire circundante, lo que facilita el conocimiento de la situación de la nube.

### 3.2.2 GNL CONFINADO

El gas natural licuado tiene una temperatura de ebullición a presión atmosférica de  $-161,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esto quiere decir que una vez alcanzada esta temperatura, si se sigue aportando calor, el gas natural vaporizado escapará de la superficie del líquido a esta misma temperatura mientras que el líquido también permanecerá a dicha temperatura. La condición para que esto ocurra es que la presión en el líquido no aumente.

Esto es lo que ocurre en el interior de los grandes depósitos de GNL de las terminales marítimas que trabajan a presiones muy próximas a la atmosférica.

Sin embargo, si el aporte de calor se realiza en un recipiente cerrado, el gas natural vaporizado hará incrementar la presión en el recipiente y en la superficie del líquido, se precisará suministrar mayor energía térmica para que el líquido hierva.

Esto ocurre tanto en la cisterna de transporte de GNL como en el depósito criogénico de una planta satélite.

Las presiones y temperaturas de equilibrio del metano líquido (Componente mayoritario del gas natural) se pueden observar en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Temperaturas de ebullición del metano líquido a diversas presiones de saturación

T <sup>a</sup> (°C)	P (bar)
-161,52	1,0132
-161	1,0444
-159	1,2263
-157	1,4316
-155	1,6619
-153	1,9193
-151	2,2057
-149	2,5230
-147	2,8732
-145	3,2583
-143	3,6804
-141	4,1416
-139	4,6439
-137	5,1895
-135	5,7805
-133	6,4191
-131	7,1075
-129	7,8478
-127	8,6423
-125	9,4933

FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

#### ➤ ***GNL en un depósito criogénico de una planta satélite***

La presión de servicio habitual de un depósito en una planta satélite suele ser del orden de 3 bar<sub>r</sub> a 5 bar<sub>r</sub>.

Los intercambios térmicos entre el GNL del interior y el medio ambiente son mínimos gracias a la doble pared con la que cuenta el depósito fabricada de perlita y con un vacío intermedio. Según los constructores este intercambio térmico provoca como máximo una regasificación diaria del orden del 0,12% del contenido máximo de GNL del tanque.

Por lo tanto si no hay consumo de GNL, en el recinto de gas sobre la superficie del GNL se irá incrementando la presión por el boil off generado. Para compensar esta sobrepresión, el depósito cuenta con unas válvulas de seguridad que descargan la sobrepresión a la atmósfera.

Por otro lado, si existe un gran consumo de GNL, el nivel de líquido bajará, por lo que el recinto de gas se incrementará dando lugar a una disminución de la presión. Para restituir el valor óptimo de presión se regasifica una pequeña parte del GNL suministrando energía térmica.

En estos depósitos ocurre una tercera situación cuando introducimos GNL durante la operación de descarga de cisterna de abastecimiento. El GNL en su ascenso comprime el recinto de gas provocando un aumento de la presión.

➤ ***GNL en una cisterna de abastecimiento***

En el caso de las cisternas para transporte y abastecimiento, una vez efectuada la carga de GNL procedente del depósito de la planta de regasificación, el GNL permanecerá confinado y no se tendrá ya la posibilidad de retirar el gas regasificado a causa del calentamiento sufrido por el GNL a su paso por la bomba o a su entrada a la cisterna.

El GNL entrará en un proceso de calentamiento irreversible al no poder retirar el boil off a la atmósfera. Por esta razón, la presión en el interior pasará de unos 0,3 bar a 0,4 bar en el momento de su salida del cargadero, hasta unos 0,8 bar aproximadamente si el trayecto no ha sido muy largo, o bien a 1,6 bar si el trayecto ha sido más largo.

➤ ***Llenado máximo de cisternas y depósitos criogénicos***

Al ser los líquidos prácticamente incompresibles, un aumento del nivel de presión en la cisterna o el depósito criogénico debido a cualquiera de las razones nombradas anteriormente, podría provocar la ruptura del depósito o cisterna en cuestión, en el caso de que el líquido ocupase la totalidad del recinto.

Con el fin de evitar esta situación límite, se establece un valor de llenado máximo, tanto para cisternas de abastecimiento (85%) como para depósitos criogénicos de las plantas satélite (95%).

### 3.3 Cadena de gas natural licuado

Cuando el transporte de gas natural entre las zonas productoras y consumidoras no puede establecerse mediante gasoductos terrestres directos, el abastecimiento se debe efectuar mediante transporte marítimo.

El transporte marítimo de GNL se justifica debido a su reducida densidad, aproximadamente  $0,45 \text{ t/m}^3$  GNL, que equivale a la mitad de la del petróleo. La otra gran ventaja es que de cada metro cúbico de GNL transportado, se pueden obtener aproximadamente  $540 \text{ m}^3(\text{n})$  a  $600 \text{ m}^3(\text{n})$  de gas natural.

La cadena se inicia en los pozos de producción, desde donde el gas natural es transportado mediante gasoductos hasta las terminales marítimas de licuefacción. En ellas, el gas es depurado y licuado para almacenarlo en depósitos criogénicos de elevada capacidad, trabajando a presiones próximas a la atmosférica.



FUENTE: (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos)

Figura 3-2: Cadena de GNL

Posteriormente el GNL es transferido a buques preparados para su transporte marítimo llamados buques metaneros. Los metaneros transportan el GNL hasta las terminales portuarias

de recepción, denominadas plantas de regasificación, donde el GNL es descargado mediante bombas criogénicas y almacenado en depósitos criogénicos de hasta 150 000 m<sup>3</sup>, trabajando también a presiones próximas a la atmosférica.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 3-3: Buque metanero



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 3-4: Planta regasificadora de Sagunto y buque metanero

Más tarde, el GNL es bombeado a alta presión hacia las instalaciones de regasificación, desde donde el gas natural ya odorizado, es conducido a los gasoductos de transporte.

Estas plantas de regasificación actúan también como abastecimiento de GNL a las plantas satélite. En este proyecto, al no existir planta regasificadora en la isla de El Hierro, la planta

satélite propuesta recibiría el suministro de GNL mediante Contenedores (habitualmente denominado LNGTainers) cargados en la regasificadora de Gran Canaria o de Tenerife.



FUENTE: (LNG Tainers, 2014)

Figura 3-5: LNG Tainer

### **3.4 Comparativa del suministro de gas natural licuado y gas licuado de petróleo**

Las diferencias principales entre ambos tipos de suministro se plantean en el tipo de tecnologías que se emplean.

Los gases licuados del petróleo (GLP), están básicamente constituidos por propano y butano. Se pueden transportar y distribuir a temperatura ambiente mediante depósitos y recipientes de acero al carbono, en cuyo interior coexiste las fases gas y líquido, a presiones moderadas. Tanto la fase gas como la fase líquido se hallan a temperatura ambiente ya que existe transmisión de calor entre el interior y el exterior del depósito.

Sin embargo, el gas natural necesita ser licuado a muy bajas temperaturas para poder ser transportado a presiones moderadas en estado líquido, lo que hace necesario que los depósitos sean de aceros especiales y se encuentren muy bien aislados del medio ambiente para mantener el gas en estado líquido.



### 3.5 Definición general de planta satélite

Se conocen como plantas satélite de GNL el conjunto de instalaciones de almacenamiento, regasificación y regulación destinadas a suministrar gas natural a consumos locales situados en zonas no abastecidas por redes de gas natural canalizado, y en las que el abastecimiento se efectúa mediante el transporte del GNL desde una planta de almacenamiento de mayor entidad.

Las plantas origen de su abastecimiento son generalmente terminales portuarias de recepción de GNL mediante buques metaneros.

Estas plantas dependen pues de un almacenamiento de GNL de mayor capacidad y es por esta característica por la que se las denomina *satélites*.

### 3.6 Aplicaciones de las plantas satélite

Las plantas satélite se han impuesto como un medio eficaz para abastecer tanto a industrias como a núcleos urbanos o polígonos, todos ellos alejados de las redes de gas convencionales.

Para la industrias sin acceso a la red de gas, representan una alternativa que permite competir con otras industrias de la misma actividad que si dispongan de conexión a la red, o bien pueden disponer de gas natural cuando represente una opción tecnológica o económica ventajosa para su proceso de producción.

También existen otras aplicaciones de menor expansión como pueden ser abastecimientos temporales a zonas de consumo por averías o incidencias que impidan la llegada del gas por las redes convencionales, estaciones de servicio de GNL para flotas de vehículos o estaciones de llenado de botellas de gas natural comprimido (GNC) para automoción.

En el presente proyecto, la planta satélite propuesta tendría tres aplicaciones diferentes:

- Proporcionar gas natural como combustible a la central térmica de Llanos Blancos
- Suministrar GNL a los barcos que conectan la isla con otras del archipiélago
- Abastecer a la estación de servicio para proporcionar gas natural comprimido a vehículos en la isla.

### 3.7 Clasificación de las plantas satélite

La clasificación de este tipo de plantas se realiza, según la norma UNE 60210:2001, por categorías según su capacidad geométrica de almacenamiento total expresado en metros cúbicos geométricos.

Tabla 3-5: Clasificación de las plantas satélite según su capacidad geométrica de almacenamiento

A	Capacidad	Hasta 5 m <sup>3</sup>
B	A partir de 5 m <sup>3</sup>	Hasta 20 m <sup>3</sup>
C	A partir de 20 m <sup>3</sup>	Hasta 60 m <sup>3</sup>
D	A partir de 60 m <sup>3</sup>	Hasta 200 m <sup>3</sup>
E	A partir de 200 m <sup>3</sup>	Hasta 400 m <sup>3</sup>
F	A partir de 400 m <sup>3</sup>	Hasta 1500 m <sup>3</sup>

FUENTE: (AENOR, 2011)

Su segunda característica más relevante viene definida por capacidad de regasificación expresada en m<sup>3</sup>(n)/h de gas natural.

Adicionalmente, aunque no sea una clasificación propiamente dicha, se sabe que las plantas destinadas a suministro de redes de propiedad de compañías distribuidoras de las que dependen un gran número de clientes son en general algo más sofisticadas que las que simplemente abastecen a una industria. Cuentan con una mayor proporción de elementos de seguridad e integridad para asegurar el suministro a los clientes abastecidos.

## 4 Suministros propuestos

### 4.1 Gas natural licuado para generación eléctrica

La central térmica de Llanos Blancos funciona a día de hoy con siete grupos diésel, de los cuales uno es móvil para cubrir emergencias en el lugar que se precise. Todos estos grupos utilizan diésel como combustible, con lo que la propuesta del presente proyecto pasa por una modificación de la central para que pueda funcionar con gas natural.

Esta modificación traería consigo numerosas ventajas para la central:

- Elevado rendimiento energético
- Menor incidencia medioambiental



- Utilizar menor cantidad de agua de refrigeración
- Mayor flexibilidad de operación
- Menor frecuencia de mantenimiento

En la Tabla 4-1 se puede apreciar como la tecnología del gas natural tiene una eficiencia parecida al resto de combustibles, pero con un volumen de emisiones mucho menor.

Al existir la central hidroeléctrica de generación, el suministro que se propone para la central térmica es de carácter auxiliar. Se suministraría gas natural en caso de interrupción o avería del funcionamiento de la central hidroeléctrica o en épocas en que los picos de demanda superaran a la generación producida por esta central.

Tabla 4-1: Eficiencia de conversión y emisiones para diferentes tecnologías de generación eléctrica

Valores en g/kWh

	<b>Eficiencia</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COV's</b>	<b>CO</b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>P.Sólidas</b>	<b>Cenizas</b>
<b>Carbón</b>	36 %	909	12,6	4,1	0,1	0,17	0,45	0,54	6,0
<b>Fuelóleo</b>	37 %	727	8	2,6	0,1	0,16	0,42	0,24	0,03
<b>Gas Natural</b>	38 %	482	0,01	1	0,01	0,01	0,19	0	0
<b>Carbón lecho fluidizado</b>	37 %	884	0,84	0,42	-	-	-	-	-
<b>Carbón gasificación integrada</b>	42 %	779	0,3	0,3	-	-	-	-	-
<b>Ciclo Combinado</b>									
<b>Gas Natural</b>									
<b>Ciclo Combinado</b>	58 %	316	0	0,27	0	0	0,13	0	0

FUENTE: (Gas Natural, 2003)

Con el fin de realizar un dimensionamiento suficiente de la planta satélite, se toma como referencia el caso más extremo, es decir, la interrupción o avería de la central hidroeléctrica y el caso en el que la central térmica tuviera que trabajar a su punta de potencia.

En la Tabla 4-2 aparecen las previsiones de generación y consumo de gas natural y GNL equivalente en los próximos años. En las previsiones se ha tenido en cuenta la instalación de la central hidroeléctrica.

Tabla 4-2: Previsiones de generación y consumo de GN y GNL equivalente

Año	Generación Punta (MW)	Generación Diaria (MWh)	Consumo GN Punta (m <sup>3</sup> )	Consumo Punta GNL equivalente (m <sup>3</sup> )
2013	7,0	168,0	15 965,4	27,5
2014	8,0	192,0	18 246,2	31,5
2015	8,0	192,0	18 246,2	31,5
2016	8,0	192,0	18 246,2	31,5
2017	9,0	216,0	20 526,9	35,4

FUENTE: (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014)

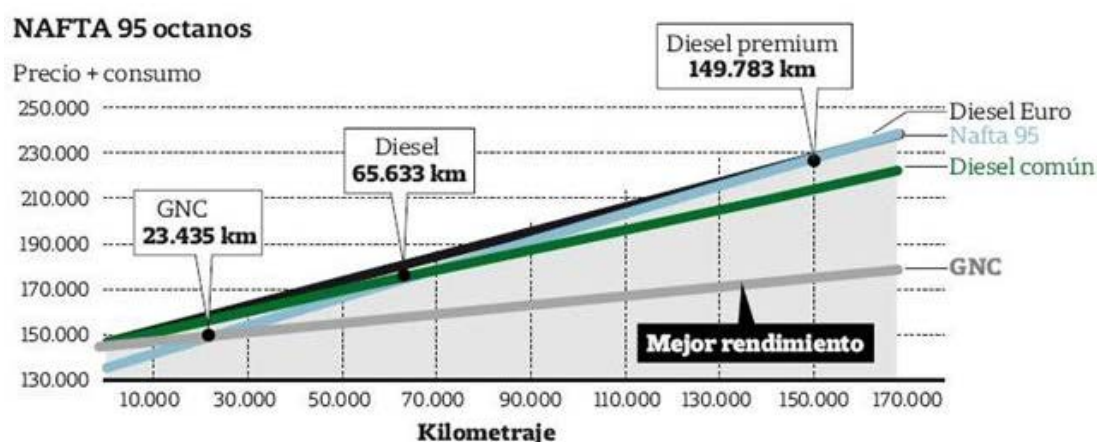
Por lo tanto, atendiendo a estos datos, se considera en los cálculos un consumo diario punta de 35,4 m<sup>3</sup> de GNL (año 2017).

## 4.2 Gas natural licuado para automoción

En este caso, lo que propone el presente proyecto es la construcción de una gasinera mediante la que suministrar gas natural comprimido (GNC) para automoción. Además, se precisaría de un cambio de una parte importante del parque automovilístico de la isla, para que pudiera funcionar con GNC en vez de gasolina o gasóleo.

La principal ventaja de utilizar GNC es que a la larga resulta más económico, como se puede apreciar en la Figura 4-1, debido a su mejor rendimiento, teniendo en cuenta el precio y el consumo de combustible por kilómetro, respecto a otros combustibles.

En detrimento del GNC hay que destacar su menor autonomía, pero tratándose de una isla pequeña, no supondría un gran inconveniente.



FUENTE: (La Nación, 2013)

Figura 4-1: Rentabilidad de varios tipos de combustibles en relación al kilometraje

Para aproximarse al posible suministro de GNL de la planta satélite a la gasinera, se han tomado como referencia los consumos de gasolina y gasóleo de la provincia de Sta. Cruz de Tenerife en 12 meses de la Tabla 4-3.

Teniendo en cuenta que la población de la provincia es de 1 009 436 habitantes, se han hallado los consumos por habitante y a partir de ellos los consumos en la isla de El Hierro con una población de 10 625 habitantes.

Tabla 4-3: Consumos de Gasolinas y gasóleos en la provincia de Sta. Cruz de Tenerife

Datos en toneladas

Año	Mes	Gasolina 95 I.O.	Gasolina 98 I.O.	Gasóleo A	Gasóleo B
2013	febrero	12 711	5 658	22 814	0
2013	marzo	13 429	6 053	23 304	0
2013	abril	14 003	6 199	25 155	0
2013	mayo	13 322	6 142	24 269	0
2013	junio	12 474	5 726	22 573	0
2013	julio	13 992	6 395	24 960	0
2013	agosto	13 802	6 191	23 496	0
2013	septiembre	13 124	5 749	22 829	0
2013	octubre	14 484	6 436	25 967	0
2013	noviembre	13 674	6 036	24 054	0
2013	diciembre	14 346	6 561	24 816	0
2014	enero	14 164	6 070	24 770	0
2014	febrero	13 049	5 694	23 481	0

FUENTE: (CORES, 2014)

Posteriormente y considerando una tasa de cambio de vehículos a GNC del 50%, se han calculado los consumos mensuales de gas natural equivalentes a la gasolina y el gasóleo en la isla previamente calculados, y a partir de estos el consumo de GNL equivalente y el GNL diario, dividiendo entre el número de días de cada mes.

Se observa en la Tabla 4-5 que durante los meses de abril y octubre se alcanza un consumo punta diario de 15,39 m<sup>3</sup>/día.

Tabla 4-4: Consumos por habitante isla de El Hierro

Datos en toneladas

Año	Mes	Gasolina 95 I.O.	Gasolina 98 I.O.	Gasóleo A	Gasóleo B
2013	febrero	133,79	59,55	240,13	0,00
2013	marzo	141,35	63,72	245,29	0,00
2013	abril	147,39	65,25	264,78	0,00
2013	mayo	140,23	64,65	255,45	0,00
2013	junio	131,30	60,27	237,60	0,00
2013	julio	147,28	67,31	262,72	0,00
2013	agosto	145,27	65,16	247,31	0,00
2013	septiembre	138,14	60,51	240,30	0,00
2013	octubre	152,46	67,75	273,32	0,00
2013	noviembre	143,93	63,54	253,18	0,00
2013	diciembre	151,01	69,06	261,20	0,00
2014	enero	149,08	63,89	260,72	0,00
2014	febrero	137,35	59,93	247,15	0,00

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 4-5: Consumos equivalentes de GN mensual, GNL mensual y GNL diario

GN equivalente (T)	GN equivalente [m <sup>3</sup> (n)]	GNL equivalente (m <sup>3</sup> )	GNL diario (m <sup>3</sup> )
170,16	243 082	419,11	14,97
176,78	252 546	435,42	14,05
187,41	267 726	461,60	15,39
180,70	258 141	445,07	14,36
168,47	240 670	414,95	13,83
187,37	267 667	461,49	14,89
179,68	256 685	442,56	14,28
172,30	246 150	424,40	14,15
193,73	276 761	477,17	15,39
180,82	258 321	445,38	14,85
188,92	269 882	465,31	15,01
185,95	265 637	457,99	14,77
174,46	249 231	429,71	15,35

FUENTE: Elaboración propia

### 4.3 Gas natural licuado para buques

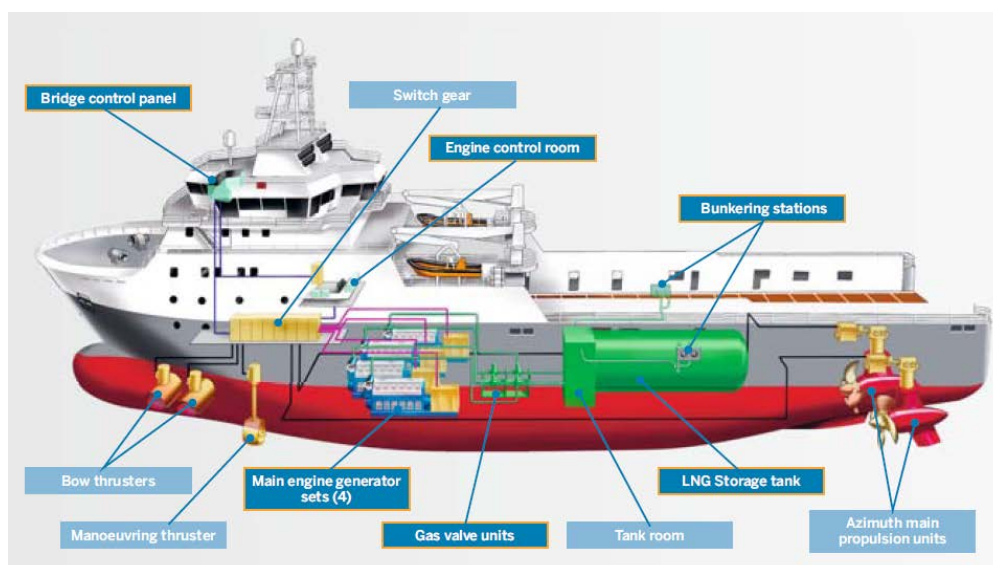
Se propone este suministro para carga de buques ferry o superiores que interconexionan la isla de El Hierro con las islas de La Gomera y Tenerife. La idea de este bunkering es también auxiliar, ya que este tipo de barcos recibiría convencionalmente el combustible de un buque (Ship to Ship: STS) o directamente de la regasificadora de Tenerife o Gran Canaria (Tank to Ship: TTS). Por ello se considera un máximo de una carga diaria.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 4-2: Ubicación del emplazamiento de suministro a buques

Para elaborar la aproximación se ha supuesto que los barcos funcionan con depósitos de 95 m<sup>3</sup> como el de la Figura 4-3.



FUENTE: (Wärtsilä Technical, 2010)

Figura 4-3: Sistema de GNL para buque

Atendiendo a estos datos se ha determinado que la demanda diaria máxima de GNL para buques sería de 95 m<sup>3</sup>/día.

#### 4.4 Demanda de GNL total

Se han sumado las demandas punta de los tres suministros concluyendo que la planta satélite podría tener una demanda punta diaria de 145,78 m<sup>3</sup>.

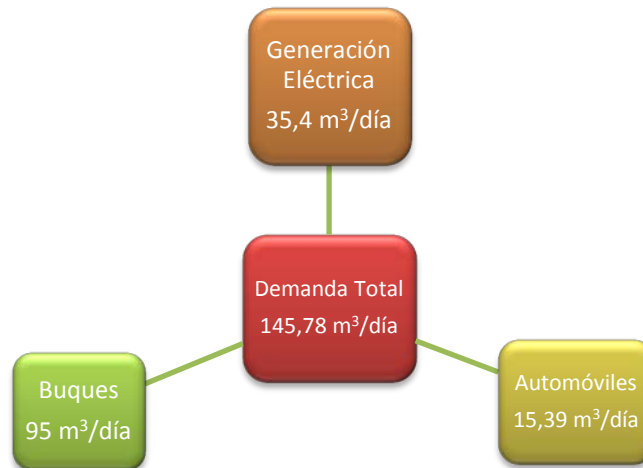


Figura 4-4: Resumen de la demanda máxima diaria de GNL

### 5 Transporte de gas natural licuado

Como ya se ha mencionado anteriormente, la propuesta para abastecimiento en el presente proyecto son contenedores de Gas Natural Licuado como el de la Figura 3-5.

Estos contenedores son muy manejables y fácilmente transportados a áreas remotas. Su uso habitual es para suministros a pequeños y medianos depósitos que no requieran una gran capacidad de almacenamiento de GNL. Los recipientes están diseñados para cumplir todos los requisitos de transporte marítimo, ferroviario y por carretera y pueden ser de tres dimensiones ISO estándar: 20 ft, 40 ft o 45 ft.

Para suministrar a la planta satélite propuesta se ha elegido del catálogo de Wärtsilä LNGPAC-ISO, los contenedores de 45 ft, por los requerimientos de capacidad mínima necesaria de la planta (437,34 m<sup>3</sup>).

LNG fuel tank container	20 ft	40 ft	45 ft
Frame dimensions (external)			
Length m	6.058	12.192	13.716
Width m	2.438	2.438	2.438
Height m	2.591	2.591	2.896
<b>Tank</b>			
Geometrical volume (approx. room temp.) m <sup>3</sup>	17 TBD	40 TBD	45 TBD
LNG volume (80 % effective volume) m <sup>3</sup>	13.5 TBD	32 TBD	36 TBD
Max weight (approx.) kg	15,000 TBD	34,000 TBD	36,000 TBD

FUENTE: (Wärtsilä, 2013)

Figura 5-1: Detalles de contenedores de GNL

De los 45 m<sup>3</sup> de contenedor solo se considera volumen efectivo el 80% como se especifica en la Figura 5-1, por lo que el volumen utilizable de cada contenedor sería de 36 m<sup>3</sup>. Para poder cubrir la demanda máxima se ha concluido que se necesita un total de 13 contenedores. Sin embargo, el uso de los 13 contenedores solo sería necesario en días de demanda máxima. Normalmente no se precisaría del uso de todos los contenedores, incluso en días de mínima demanda no haría falta ningún contenedor.

Los contenedores serían cargados en la regasificadoras de Tenerife o Gran Canaria y serían transportados mediante buque portacontenedores convencional al puerto de La Estaca en la isla de El Hierro.



FUENTE: (Wärtsilä, 2013)

Figura 5-2: Buque portacontenedores convencional transportando contenedores de GNL



Una vez que hubiera atracado el buque en el puerto correspondiente, el traslado de estos contenedores se realizaría mediante camiones portacontenedores como el de la Figura 5-3. El camión procedería entonces a la descarga de los contenedores en el espacio dedicado a su almacenamiento. También existiría un área reservada para el trasvase de producto de contenedor a tanque de almacenamiento.



FUENTE: (Chart-Ferox)

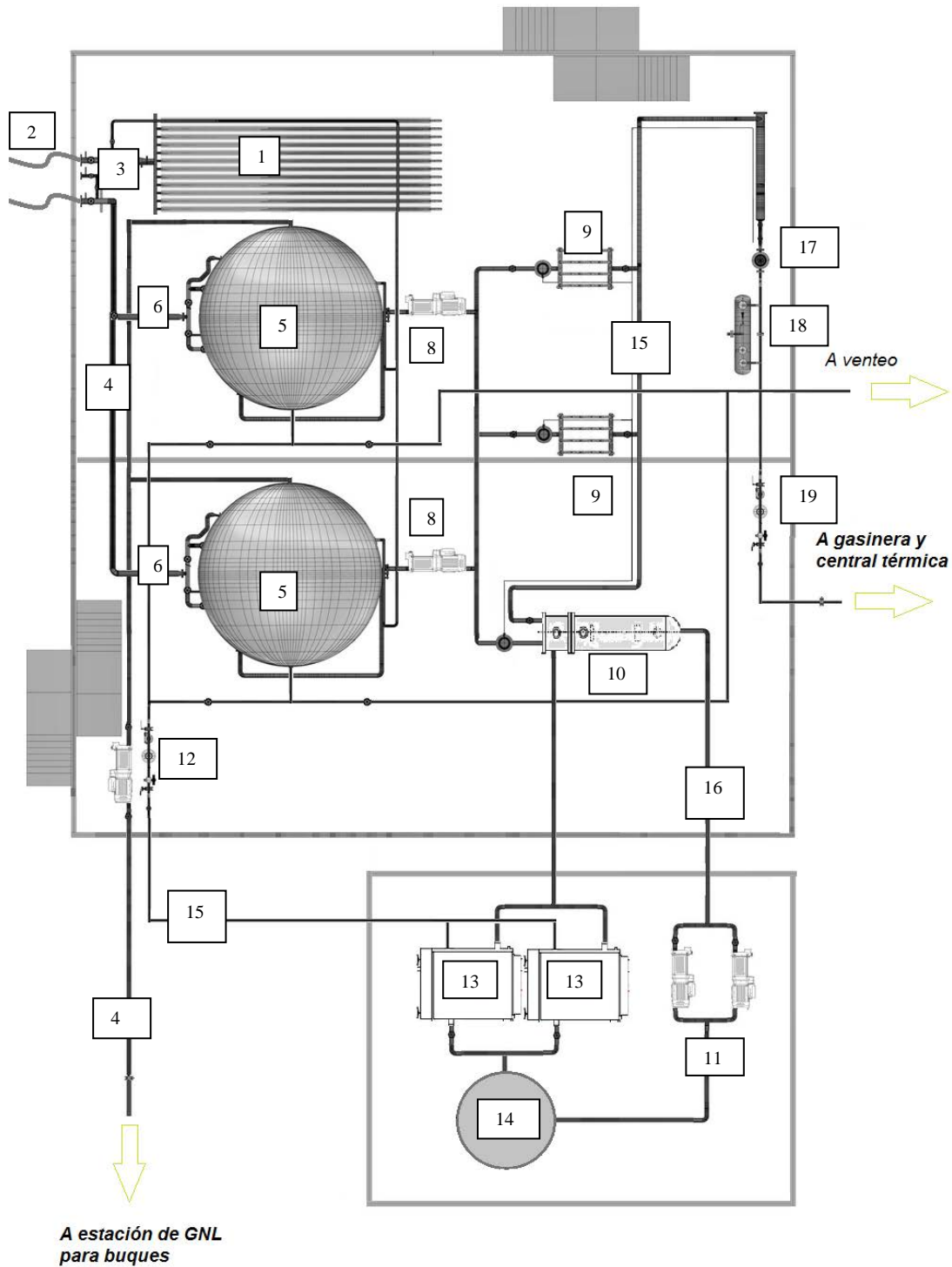
Figura 5-3: Camión portacontenedores



## 6 Descripción y funcionamiento de las instalaciones

### 6.1 Descripción de la instalación

En la Figura 6-1 se puede observar la instalación propuesta para la planta satélite de El Hierro.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 6-1: Esquema planta satélite

Los elementos que conforman la planta satélite se pueden distribuir en varias instalaciones principales:

- La instalación de descarga de GNL está compuesta por los siguientes elementos:
  - 1) Regasificador de descarga
  - 2) Mangueras flexibles de interconexión
  - 3) Valvulería asociada
  - 4) Tuberías de GNL de 4"
  
- La instalación de almacenamiento de GNL está compuesta por los siguientes elementos:
  - 5) Depósitos criogénicos
  - 6) Circuitos y valvulería asociada
  - 7) Regasificadores PPR (Situados debajo de cada depósito)
  
- La instalación de regasificación del GNL está compuesta por los siguientes elementos:
  - 8) Bombas criogénicas
  - 9) Regasificadores atmosféricos
  - 10) Regasificador de agua caliente
  - 11) Bombas de agua caliente
  - 12) Estación de regulación y medida
  - 13) Calderas
  - 14) Depósito de agua
  - 15) Tuberías de GN de 1 1/2"
  - 16) Tuberías de agua de calderas de 3"
  
- La instalación de seguridad está compuesta por los siguientes elementos:
  - 17) Válvula de seguridad de avance del frío
  - 18) Odorizador
  - 19) Estación de regulación y medida

## 6.2 Instalación de almacenamiento de GNL

### 6.2.1 GENERAL

Para almacenar el GNL en las plantas satélite se utilizan depósitos de doble envoltente metálica, la interior de acero aleado y la exterior de acero al carbono, con un espacio intermedio relleno de perlita expandida y en el cual se ha efectuado el vacío.

Los depósitos son siempre cilíndricos y pueden ser horizontales o verticales en función de las capacidades y necesidades de espacio. Normalmente se utilizan depósitos horizontales, pero para ciertas aplicaciones en las que por ejemplo deban alimentarse bombas criogénicas de gas natural licuado o por falta de espacio, convienen los verticales como el de la Figura 6-2.



FUENTE: (Lapesa)

Figura 6-2: Depósito criogénico vertical

Sus capacidades están comprendidas entre unos pocos metros cúbicos hasta  $250 \text{ m}^3$  o  $300 \text{ m}^3$ , en función de las necesidades. Los pequeños se suelen utilizar para consumos pequeños suministrados a granel mientras que los de  $60 \text{ m}^3$  y superiores se utilizan para consumos industriales o plantas de distribución. En función de las necesidades deberán construirse uno o varios depósitos, en cuyo caso es habitual que sean idénticos. No deben llenarse nunca a más del 95% de su capacidad geométrica y se debe evitar que alcancen un nivel mínimo, para garantizar el mantenimiento en frío.

En cuanto a la presión de servicio, no se suelen sobrepasar los 5 bar, siendo la habitual de trabajo entre 3 bar y 4,5 bar. Generalmente no son necesarias presiones mayores, pero en cualquier caso son posibles depósitos preparados para presiones superiores.

Su temperatura de diseño es de  $-196^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura de servicio del GNL es del orden de los  $-160^{\circ}\text{C}$  a  $-135^{\circ}\text{C}$ .

➤ **Dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento:**

Para este apartado se ha partido de las estimaciones de demanda punta de GNL mencionadas previamente en el apartado 4.4, de las que se deduce una demanda punta diaria aproximada de  $145,78\text{ m}^3$ .

Teniendo en cuenta una reserva estratégica mínima de tres días, la capacidad necesaria que ha de tener la planta es de  $437,34\text{ m}^3$ , por lo que según la Norma UNE 60210:2011 la planta satélite tendría una clasificación de tipo F ( $400\text{ m}^3$  a  $1500\text{ m}^3$ ).

Es más habitual la utilización de depósitos horizontales en este tipo de plantas, pero para este proyecto en particular se han elegido depósitos verticales por necesidad.

Tanto en el suministro de GNC como a los motores de la central térmica, la presión de suministro rondaría los 200 bar, por lo que sería necesario la incorporación de bombas criogénicas para suministrar a estas presiones. Con el fin de asegurar una carga neta positiva en las bombas criogénicas, es recomendable que reciban GNL directamente de tanque vertical.

Se ha descartado la opción de combinar depósitos horizontales y verticales ya que el utilizar depósitos idénticos verticales facilita el mantenimiento, aumenta la disponibilidad y reduce las distancias de seguridad de la instalación, además de disminuir los costes de adquisición de los depósitos.

Si bien los depósitos horizontales se ajustarían mejor a la capacidad mínima necesaria, abaratando el precio de compra (aproximadamente 24 000 euros menos), esto quedaría compensado por los requisitos de espacio, que serían mucho menores colocando los depósitos en vertical (aproximadamente  $265\text{ m}^2$  menos).

Con el fin de aproximarse a un dimensionamiento real, se ha elegido del catálogo de Lapesa el conjunto de depósitos verticales de la serie 4200v.

### DEPÓSITOS SERIE 4200 V

MODELOS	LC195V	LC240V	LC285V	LC307V	LC318V
Volumen (m <sup>3</sup> )	195	240	285	307	318
L (mm)	19.660	23.660	27.660	29.660	30.661
Tara aprox. (Tn) para 5 bar	47,0	55,7	64,3	68,7	71,1

### DATOS PARA GNL

Masa de líquido almacenado al 95% (Tn)	85,2	104,9	124,5	134,2	139,0
Elevador de presión PPR para consumo de GN (Nm <sup>3</sup> /h)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

FUENTE: (Lapesa)

Figura 6-3: Datos de depósitos criogénicos serie 4200V

A partir de estos datos se ha elaborado la Tabla 6-1, indicando para cada volumen de depósito su capacidad útil unitaria, el número mínimo de depósitos necesarios para alcanzar la capacidad necesaria de planta, la capacidad útil total, y el volumen geométrico total.

Tabla 6-1: Características para diferentes volúmenes de depósitos verticales

Volumen Depósito (m <sup>3</sup> )	318	307	285	240	195
Capacidad útil unitaria (m <sup>3</sup> )	286,2	276,3	256,5	216	175,5
Número mínimo depósitos	2	2	2	3	3
Capacidad útil total (m <sup>3</sup> )	572,4	552,6	513	648	526,5
Volumen geométrico total (m <sup>3</sup> )	636	614	570	720	585

Para la elección del modelo y número de depósitos se ha determinado en primer lugar, a partir de los datos de volumen y dimensiones de los depósitos (diámetro y longitud), la superficie total que estos ocuparían, incluyendo las distancias de seguridad entre depósitos.

Una vez hayadas las superficies que ocuparían los distintos modelos de depósitos, se ha calculado en la Tabla 6-2 la relación entre el coste total estimado de cada modelo y dicha superficie.

Tabla 6-2: Relación coste depósitos y superficie ocupada serie 4200V

Volumen depósito (m <sup>3</sup> )	318	307	285	240	195
Número mínimo de depósitos	2	2	2	3	3
Coste depósito €	154 818	151 752	145 474	131 898	117 153
Coste total €	309 635	303 504	290 949	395 693	351 460
Volumen ocupado total (m <sup>3</sup> )	636	614	570	720	585
Superficie Total Ocupada (m <sup>2</sup> )	10,70	10,69	10,67	10,57	10,42
Relación Coste/Sup. Ocupada (€/m <sup>2</sup> )	28 918,74	28 373,14	27 257,32	37 426,00	33 704,10

Se puede observar cómo al aumentar el número de depósitos, aumentan considerablemente los costes y la superficie ocupada, a pesar de que el volumen de depósito sea menor.

Por lo tanto, atendiendo a estos valores, se concluye que la mejor opción será la de dos depósitos verticales de 285 m<sup>3</sup> cada uno, al tener el menor coste por metro cuadrado de los modelos del catálogo.

### 6.2.2 CIRCUITOS Y ELEMENTOS INCORPORADOS A LOS DEPÓSITOS

En los depósitos criogénicos se distinguen 5 circuitos, cada uno asociado a una función específica.

#### ➤ Circuito de salida para utilización y consumo

Cuenta con una válvula criogénica de asiento de salida y con un economizador que regula la presión de entrada mediante la acción de un muelle. Si la fuerza supera la acción del muelle, el obturador abre y da paso al gas.

#### ➤ Circuito de descarga de GNL a depósito

Sus componentes son unas válvulas criogénicas mixtas manuales y antirretorno que actúan si la presión del lado del depósito es superior a la del lado de la descarga.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-4: Válvulas criogénicas mixtas de maniobra manual y antirretorno

### ➤ Circuito de presurización del depósito

El componente principal de este circuito es el regasificador PPR (puesta a presión rápida). Es de tipo atmosférico y debe ser capaz de mantener la presión en el depósito cuando el caudal de salida a utilización sea el especificado.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-5: Regasificador PPR

También cuenta con un regulador de la presión de servicio que deja pasar líquido al regasificador cuando la presión en el depósito cae por debajo de un nivel predeterminado.

Se colocarán dos regasificadores de este tipo, uno para cada depósito, y sus características serán las dadas en la Tabla 6-3:

Tabla 6-3: Características regasificador PPR

Capacidad gasificación	100 m <sup>3</sup> (n)/h
Presión máxima de trabajo	1 000 kPa
Presión de prueba hidráulica	1 300 kPa
Temperatura de diseño	-196 °C
Temperatura de servicio	-165 °C
Material	Aleación de Aluminio (SB-241-6063-T5)

### ➤ Elementos de seguridad

El depósito debe incorporar 2 + 2 válvulas de seguridad a través de una válvula de tres vías para que en cualquier caso el depósito se encuentre protegido por dos de ellas. También se incluyen en este apartado la válvula de venteo del depósito, el sistema de tuberías de acero inoxidable que conducen los venteos, las válvulas de seguridad de líneas, un dispositivo de control del vacío en el espacio intermedio y una conexión para bomba de vacío.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-6: Válvulas de seguridad

#### ➤ Elementos de control

Este circuito in incluye:

- Indicador de presión de servicio
- Transmisor de presión de servicio
- Indicador de nivel de GNL
- Transmisor de nivel de GNL
- Válvula de llenado máximo
- Conexión para medición del vacío

### 6.3 Instalación de descarga de GNL a depósito

La descarga del GNL desde los tanques de abastecimiento a los depósitos se puede realizar de dos maneras:

#### ➤ Mediante bombas criogénicas de GNL

El trasvase mediante este método es habitual en la distribución de gases técnicos a granel como oxígeno líquido a hospitales. La cisterna o tanque realiza un recorrido prefijado a lo largo de diversos usuarios, descargando parte del líquido criogénico que transporta a cada uno de ellos.



➤ **Mediante diferencia de presiones entre las fases gas de la cisterna (mayor presión) y del depósito (menor presión)**

Para la mayoría de casos las necesidades de consumo y abastecimiento son en general más elevados, por lo que resulta más económico y práctico que la descarga de GNL en destino sea total y la cisterna o tanque quede vacío, como es el caso de este proyecto.

En este caso la descarga del GNL se efectuaría por diferencia de presiones utilizando un regasificador auxiliar que presuriza la fase gas del tanque hasta el depósito, logrando su vaciado completo.

Este tipo de instalación es de gran simplicidad y evita la instalación de una bomba criogénica fija local y evita el tiempo de enfriamiento previo de esta antes de cada descarga, así como la instalación eléctrica asociada.

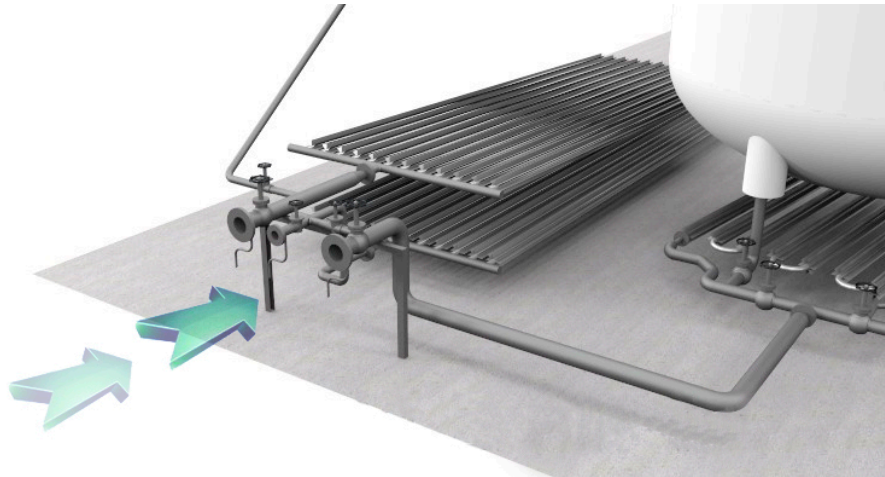
La función del regasificador de descarga es la de gasificar una pequeña cantidad de GNL procedente del propio tanque que fluye por efecto de vasos comunicantes, una vez abiertas las válvulas del circuito auxiliar de presurización que comunica las dos bocas de entrada y salida del regasificador con las fases líquido y gas del tanque.

El regasificador de descarga deberá hallarse a un nivel inferior al de las bocas de salida de GNL del tanque.

### **6.3.1 ELEMENTOS INCORPORADOS A LA INSTALACIÓN DE DESCARGA**

➤ **Regasificador de descarga**

Los regasificadores de descarga utilizados en plantas satélite son de tipo atmosférico y en forma de V. La presión de trabajo habitual es de 7 bar y son de construcción horizontal en aluminio aleado.



FUENTE: (Novagas Criogenia, 2012)

Figura 6-7: Regasificador de descarga

El modelo de regasificador de descarga cuenta con las características de la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Características regasificador de descarga

Capacidad gasificación	500 m <sup>3</sup> (n)/h
Presión máxima de trabajo	700 kPa
Presión de prueba hidráulica	1 000 kPa
Presión de diseño	1 300 kPa
Temperatura de diseño	-196 °C
Temperatura de servicio	-165 °C
Material	Aleación de Aluminio (SB-241-6063-T5)

#### ➤ Mangueras flexibles de interconexión

La conexión entre los tanques de suministro y la instalación de descarga se lleva a cabo con mangueras flexibles criogénicas construidas de acero inoxidable como la de la Figura 6-8.



FUENTE: (Pure-process)

Figura 6-8: Manguera criogénica

Por un extremo permanecen conectadas permanentemente a la valvulería de la instalación de descarga y por el otro contarán con enlaces para su conexión al tanque de suministro. Se requieren dos mangueras, una para fase gaseosa y otra para fase líquida.

➤ **Válvulas criogénicas de maniobra**

Actúan como válvula manual al cierre y como antiretorno a la apertura si la presión del lado del depósito es superior a la del lado de la descarga.

➤ **Válvulas de seguridad de línea**

Se instalarán válvulas de seguridad de escape a la atmósfera en los tramos de tubería situados entre dos válvulas de interceptación que puedan retener GNL entre ambas.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-9: Válvula de seguridad de línea

➤ **Puesta a tierra**

Se precisaría de una red de tierras a la que se hallarían conectados los equipos y elementos metálicos para evitar arcos eléctricos o descargas de electricidad estática durante el proceso de descarga.

## 6.4 Instalación de regasificación del GNL

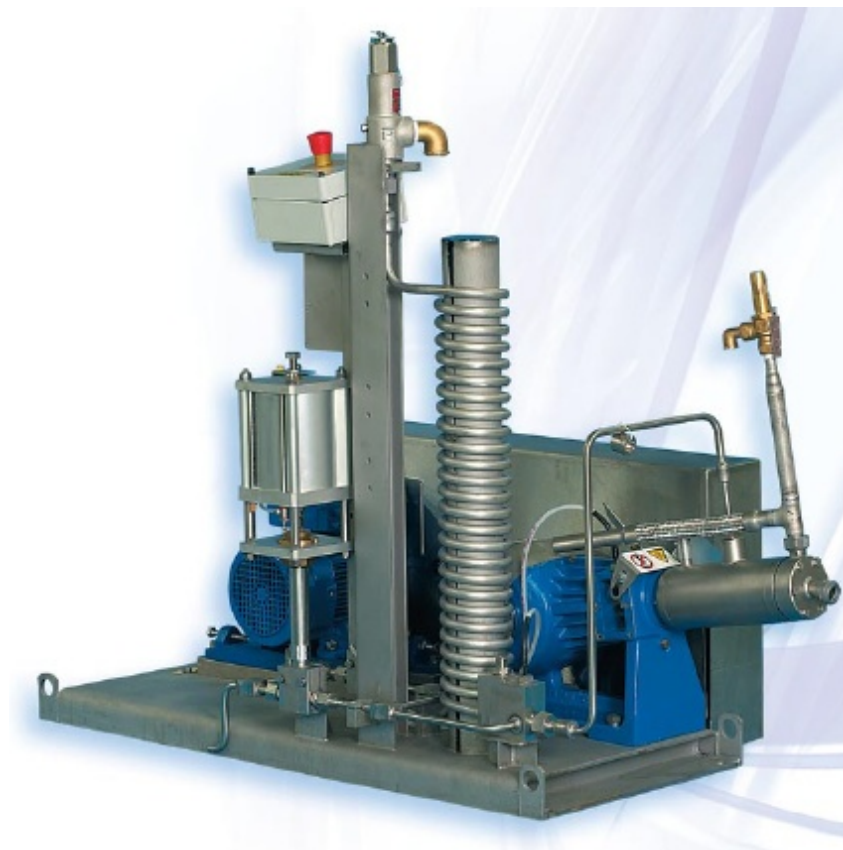
Tanto el suministro de GNC para automóviles como el suministro a la central térmica requieren una presión de suministro de 200 bar o superior, por lo que se ha optado por la instalación de bombas criogénicas a pie de depósito que trabajarían contra los regasificadores.

Los regasificadores tienen como función ceder energía térmica al GNL para provocar su cambio de estado de líquido a gaseosos y recalentarlo posteriormente hasta la temperatura ambiente, ya que el GNL ha sido almacenado previamente a temperaturas que oscilan entre los  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 6.4.1 BOMBAS CRIOGÉNICAS

Se ha optado por un modelo de bomba criogénica adaptada para trabajar a las altas presiones que se requieren para suministrar gas natural comprimido.

Estas bombas situadas a pie de cada uno de los depósitos tendrían la función de transportar el GNL a través de los regasificadores para su posterior envío a consumo, ya como gas natural comprimido.



FUENTE: (Cryostar)

Figura 6-10: Bomba criogénica

En la Tabla 6-5 se pueden apreciar las características de dicho modelo.

Tabla 6-5: Características bombas criogénicas

Modelo	Bomba SDPD
Líquido bombeado	Gas natural licuado
Presión de diseño	420 bar
Presión de trabajo	210 bar
Flujo máximo GNL	22,71 m <sup>3</sup> /s

FUENTE: (Cryostar)

#### 6.4.2 REGASIFICADORES ATMOSFÉRICOS DE GNL

Los regasificadores atmosféricos son un buen medio de regasificación, en particular para consumos intermitentes como los que se propone en el presente proyecto.

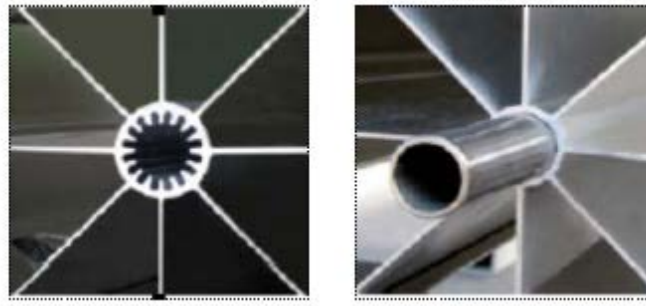


FUENTE: (Novagas Criogenia, 2012)

Figura 6-11: Regasificador atmosférico vertical

El elevado gradiente de temperatura existente entre el GNL y el medio ambiente permite el empleo de regasificadores atmosféricos de aletas. En ellos el GNL circula por un haz de tubos aleteados para aumentar la superficie de intercambio. Se colocan en posición vertical con el fin de favorecer la circulación por convección del aire atmosférico.

En general se construyen por extrusión de aleaciones de aluminio. Pero para las presiones mencionadas (>200 bar) se opta por tubos fabricados de acero inoxidable con recubrimiento de tubo aleteado de aluminio.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-12: Sección de tubos de aletas de regasificadores atmosféricos

Para determinar el número de regasificadores atmosféricos necesarios se ha partido del caudal punta horario que podría tener la planta tanto en continuo para la central térmica, como el intermitente de gas natural comprimido para automóviles.

Con el fin de ocupar el menor área posible se ha elegido el modelo VAI-836-XXL23 de Cryoquip cuyas características se reflejan en la Tabla 6-6 y que permitiría el correcto funcionamiento de la planta con un único regasificador.

Tabla 6-6: Características regasificadores atmosféricos

Modelo	VAI-836-XXL23
Flujo para consumo continuo	856,52 m <sup>3</sup> (n)/h
Flujo para consumo intermitente	9 825 m <sup>3</sup> (n)/h
Presión de diseño	250 bar
Presión de servicio	210 bar
Temperatura de servicio	-160 °C
Dimensiones (L x W x H)	1,8 x 1,8 x 8,1 m

FUENTE: (Cryoquip)

Sin embargo, es normal que el vapor de agua adyacente condense y solidifique en forma de hielo adheriéndose a la superficie del vaporizador debido a las bajas temperaturas a las que trabajan. Al ser el hielo un mal conductor del calor, actúa como aislante, reduciendo considerablemente la eficiencia de los regasificadores.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-13: Regasificadores atmosféricos en servicio

Para evitar trabajar bajo los efectos de este fenómeno, se ha considerado la instalación de un regasificador de reserva en paralelo e idéntico al anterior. Así, cuando la capa de hielo aparezca en el regasificador que está en servicio, se cerraría el caudal, pasando a trabajar con el otro regasificador y viceversa.

#### **6.4.3 REGASIFICADOR DE GNL DE AGUA CALIENTE**

Complementariamente a los dos regasificadores atmosféricos, se propone la instalación de un regasificador de agua caliente en paralelo con los anteriores, que tendría una función auxiliar y entraría en funcionamiento en épocas de bajos consumos o cuando se requirieran caudales elevados y constantes con la entrada en funcionamiento de la planta de generación térmica.

Se trata de un intercambiador de calor típico de carcasa y tubos como el de la Figura 6-14, por el que circularía en el lado de la carcasa agua y en el de los tubos el gas natural licuado. Se ha elegido el modelo Cryoquip WCV 2 500 preparado para soportar presiones de trabajo por encima de 200 bar y cuyas características son las de la Tabla 6-7.





FUENTE: (Cryoquip)

Figura 6-14: Regasificador de agua caliente

Para la alimentación de agua caliente del vaporizador de carcasa y tubos se dispondría de un sistema autónomo de dos calderas de gas natural y bombas gemelas para la circulación del agua.

Tabla 6-7: Características del vaporizador de GNL de agua caliente

	Carcasa	Tubos
Fluido	Agua	GNL
Temp. Entrada	60 °C	-160 °C
Temp. Salida	52,5 °C	15 °C (gas)
Material	Acero inoxidable	
Caudal de GN regasificado	1 972,15 m <sup>3</sup> (n)/h	

FUENTE: (Cryoquip)

Las calderas estarán conectadas en paralelo con funcionamiento simultáneo o individual de cada caldera en función de las necesidades.





FUENTE: (Cryoquip)

Figura 6-15: Sistema de calderas de agua caliente para regasificación

El sistema de calderas deberá proporcionar el caudal de agua caliente suficiente para conseguir el aporte de calor necesario para producir la gasificación del GNL en el vaporizador.

En adición, el sistema requerirá de un tanque auxiliar de agua donde vaya a parar la salida de agua del intercambiador y de donde pueda recoer agua el sistema de calderas para calentarla y posteriormente enviarla al vaporizador.

Para la circulación del agua se utilizaría un sistema de bombeo central con bombas de reserva y control con detector de circulación de agua, con cambio de bomba en caso de fallo de una de ellas. Para este modelo de regasificador, el fabricante recomienda una potencia para las bombas de 3,8 kW.

La alimentación de gas natural a las calderas se realizaría mediante un grupo de regulación de dos líneas, una de ellas de reserva, con origen aguas abajo del conjunto de regulación de gas de salida de planta. Según los datos de fabricante el caudal de gas natural que requieren las calderas para funcionar es de  $60,88 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ , con un caudal de agua de  $48\,936,73 \text{ kg/h}$ , como se puede observar en la Tabla 6-8.

Tabla 6-8: Resumen sistema de regasificación por agua caliente

Modelo del sistema	Capacidad regasificadora (m <sup>3</sup> (n)/h)	Potencia bombas (kW)	Volumen del tanque de agua (L)	Gas requerido por las calderas (m <sup>3</sup> (n)/h)	Caudal de agua (kg/h)
WCV 2 500	1 972,5	3,8	1360	60,88	48 936,73

### ➤ Bombas de agua

A partir de los datos de caudal de agua necesario y la potencia recomendada por el fabricante, se ha elegido un modelo de bomba de la marca SEDICAL, cuyas características son las de la Tabla 6-9.

Tabla 6-9: Características bombas de agua

Modelo	SEDICAL SIP 100/150-7.5
Tipo de bomba	Centrífuga
Potencia nominal	3,7 kW
Caudal máximo de agua	65 m <sup>3</sup> /h

### ➤ Calderas

El modelo de caldera seleccionado está debidamente homologado y certifica la marca CE de conformidad con las directivas de Aparatos de Gas (2009/142 CEE), Rendimiento (92/42 CEE), Baja Tensión (2006/95 CEE) y Compatibilidad Electromagnética (2004/108 CEE).

Las características generales del modelo seleccionado son las de la Tabla 6-10.

Los gases de la combustión producidos por las calderas se conducirían al exterior de la sala de calderas mediante una tubería de 350 mm de diámetro, con el fin de que no puedan quedar almacenados en su interior.

Tabla 6-10: Características generales calderas

Modelo	Ferroli RSW 525
Potencia útil máxima	525 kW
Rendimiento	0,9
Capacidad total de la caldera	405 l
Presión máxima	6 bar

FUENTE: (Ferroli Industrial, 2014)

La boca de salida de las chimeneas deberá sobresalir por lo menos 1 m por encima de cualquier obstáculo situado a menos de 10 m de distancia. La salida de humos será libre y continua mientras las calderas estén en funcionamiento.

## 6.5 Tuberías de interconexión

Se ha realizado una distinción entre las tuberías de interconexión de la planta en función del fluido que van a transportar: GNL, GNC o agua.

### ➤ Tuberías para gas natural licuado

Para el transporte de gas natural licuado, se ha optado por tuberías de acero al carbono API 5L, con un diámetro exterior de 114,3 mm, para las cuales se ha considerado un espesor mínimo de 4 mm. Las características de este tipo de tuberías se pueden apreciar en la Tabla 6-11.

Tabla 6-11: Características tuberías de GNL

Diámetro nominal	4"
Diámetro exterior	114,3 mm
Material	Acero al carbono
Espesor	4 mm
Uniones	Bridas ANSI 150 LB
Temperatura de servicio	-160 °C
Presión máxima de servicio	7 bar

### ➤ Tuberías para gas natural comprimido

Para el transporte de gas natural comprimido, se ha optado por tuberías de acero al carbono API 5L, con un diámetro exterior de 48,26 mm, para las cuales se ha considerado un espesor mínimo de 5,1 mm. Las características de este tipo de tuberías se pueden apreciar en la Tabla 6-12.

Tabla 6-12: Características tuberías de GNC

Diámetro nominal	1 1/2"
Diámetro exterior	48,26 mm
Material	Acero al carbono
Espesor	5,1 mm
Uniones	Bridas ANSI 150 LB
Temperatura de servicio	15 °C
Presión máxima de servicio	250 bar

### ➤ Tuberías de agua de caldera

Para el transporte de agua, se ha optado por tuberías de acero inoxidable API 5L, con un diámetro exterior de 88,9 mm, para las cuales se ha considerado un espesor mínimo de 4 mm. Las características de este tipo de tuberías se pueden apreciar en la Tabla 6-13.

Tabla 6-13: Características tuberías de agua

Diámetro nominal	3"
Diámetro exterior	88,9 mm
Material	Acero al carbono
Espesor	4 mm
Uniones	Bridas ANSI 150 LB
Presión máxima de servicio	6 bar

## 6.6 Instalaciones de seguridad

### 6.6.1 SEGURIDAD DE AVANCE DEL FRÍO

Esta instalación tiene como objetivo mantener constante la presión de salida del gas de la planta y que pueda odorizarse de un modo correcto y fiable.

Aguas arriba de este conjunto debe colocarse una válvula automática de interrupción del paso del gas en caso de mínima temperatura de salida del gas procedente de la regasificación, normalmente fijada por el fabricante. Se evitaría así que cualquier temperatura excesivamente baja procedente de la zona criogénica, pueda alcanzar la zona de salida de planta.

Esta válvula debe ser de rearme manual y de diseño resistente al fuego y en caso de fallo en su funcionamiento debe quedar siempre cerrada.

### 6.6.2 ODORIZACIÓN DE GAS

Antes de su salida de planta, el gas deberá ser odorizado con el fin de detectar posibles fugas con facilidad.

Se instalará un equipo de odorización del gas que actuará mediante una inyección de THT (Tetrahidrotiofeno) sobre la línea que conduce el gas a consumo. La odorización deberá realizarse a razón de 15 ppm a 20 ppm del volumen de gas que se dirija hacia consumo. El sistema basa su funcionamiento en una depresión que se origina en la conexión del depósito de THT por una brida de orificio que succiona el THT introduciéndolo en la corriente de gas natural.



Figura 6-16: Equipo de odorización

Estas instalaciones son sencillas e independientes de toda energía ajena al sistema. Además, ocasionan pocos costes de mantenimiento y conservación. El depósito de THT será un bidón horizontal rellenable con una capacidad de 50 L a 100 L (Asociación española del Gas, 2012-2013).

Existen dos tipos de sistemas de odorización:

- Odorizadores por dosificación
- Odorizadores de contacto

La principal diferencia entre estos dos tipos es el modelo de suministro a los usuario/s a los que irá destinado el gas natural. En casos en el que se realice distribuciones a numerosos usuarios domésticos y comerciales, resulta más recomendable la instalación de odorizadores por dosificación, los cuales incorporan unas bombas que dosifican THT proporcionalmente al caudal de gas emitido.

Por otra parte, los odorizadores de contacto se utilizan habitualmente en plantas satélite destinadas a consumos industriales, como es el caso del presente proyecto. Estos odorizadores desvían una parte del gas haciéndolo pasar por el recipiente que contiene el odorizante para, posteriormente, devolverlo a la corriente principal de gas.

### 6.6.3 INSTALACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA

La función de la estación de regulación y medida es ajustar y mantener constante la presión de salida del gas de planta y efectuar la medición a través de un contador con el fin de conocer la cantidad de gas suministrada a los clientes.



FUENTE: (INIMO)

Figura 6-17: Estación de regulación y medida

La Norma UNE 60210-2011 indica que en el caso de que la planta satélite suministre gas a varios usuarios se debe instalar un conjunto de regulación conforme a las exigencias establecidas en la Norma UNE 60312.

### 6.6.4 INSTALACIÓN DE CONTROL Y REGISTRO DE PARÁMETROS

Permite la supervisión técnica de la planta y facilita la logística de los suministros de GNL. Se miden parámetros de presión, temperatura, niveles o alarmas, que se gestionan desde un centro de control para ayudar a determinar la logística de envíos de tanques.

Esta instalación es objeto de la Norma UNE 60210-2011, que indica que los sistemas de control deben permitir vigilar y controlar la seguridad de la planta y los parámetros básicos de proceso.

La Norma UNE 60210-2011 establece unos elementos mínimos de control para las plantas satélite en función del tipo de operación:

➤ **Operación presencial**

- Manómetro de presión de servicio
- Nivel de indicación continua de llenado
- Nivel de punto alto
- Válvulas de servicio

➤ **Operación no presencial**

- Manómetro de presión de servicio
- Presión de servicio de depósitos
- Nivel continuo de GNL en los depósitos
- Temperatura del gas de emisión
- Falta de alimentación eléctrica a la planta
- Avería en el sistema de vaporización
- Presencia de gas en la sala de calderas
- Accionamiento de válvulas de interrupción por mínima temperatura
- Intrusismo en la planta

### **6.6.5 INSTALACIÓN DE DEFENSA CONTRA INCENDIOS**

La Norma UNE 60210-2011 es también la que regula este tipo de instalación:

- En la zona de depósitos y regasificación, la instalación debe estar equipada con extintores de polvo seco en proporción de 10 kg de polvo por cada 1 000 kg de producto.
- Los extintores deberán colocarse en lugares fácilmente accesibles
- Para instalaciones con una capacidad de almacenamiento inferior a 450 m<sup>3</sup>, como la propuesta en este proyecto, no es necesaria la instalación de un sistema de irrigación superior.



FUENTE: (Asociación española del Gas, 2012-2013)

Figura 6-18: Extintores de polvo seco

#### 6.6.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Según la Norma UNE-EN 60079-10, la zona del cubeto se considera Zona 1, es decir, área con probabilidad de formación ocasional de atmósfera explosiva. Por otra parte, las zonas periféricas se consideran como Zona 2, en la que no es probable en condiciones normales la formación de una atmósfera explosiva.

Por ello, las distancias periféricas límite deben ser las que resulten según sea el entorno y en base a esta clasificación de zonas. Dentro de estos límites de atmósfera explosiva, cualquier equipo eléctrico debe estar construido y preparado para que no pueda ser fuente de ignición, ya sea por punto de ignición externo o por calentamiento excesivo del equipo.

Los equipos eléctricos que se instalen en la planta satélite deberán estar sometidos a las directivas ATEX y estar contruidos, marcados y certificados con uno de los sistemas de protección aceptados.

Toda la instalación eléctrica se realizará en base al reglamento electrotécnico de baja tensión de acuerdo con las Instrucciones Técnicas Complementarias que se nombran a continuación:

- ITC-BT-029: Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio y explosión
- ITC-BT-30: Instalaciones en locales de características especiales



### ➤ **Puesta a tierra**

Con el fin de evitar descargas y chispas entre los elementos metálicos de la planta satélite que puedan ser fuente de ignición, deberá asegurarse una eficaz puesta a tierra del conjunto de las instalaciones.

Se harán conexiones de las instalaciones por uno o más puntos de las mismas a una red local de puesta a tierra, la cual deberá efectuarse según la ITC-BT-18: Instalaciones de puesta a tierra.

## **7 Emplazamiento**

### **7.1 Condiciones generales**

Según la Norma UNE 60210-2011 la instalación debe cumplir con las siguientes condiciones generales:

- La instalación deberá estar protegida por una cerca metálica que impida que personas ajenas al servicio puedan manipular las instalaciones. Esta cerca deberá disponer de dos salidas contrapuestas.
- El emplazamiento de la instalación deberá permitir el fácil acceso de los vehículos de abastecimiento, mantenimiento y extinción de incendios. La circulación de vehículos deberá limitarse a lo estrictamente necesario y se dispondrá de tal manera que se eviten maniobras.
- El alumbrado deberá ser suficiente para garantizar la seguridad general de las operaciones.
- Deberá colocarse en sitio visible un cartel donde se indique el tipo de instalación, los peligros específicos y medidas de seguridad.

### **7.2 Cubetos de protección contra derrames**

Su finalidad es la de recoger y confinar el GNL que pueda ser vertido en caso de accidente.

La construcción de cubetos en plantas satélite se rige también por la Norma UNE 60210-2011, la cual dispone las siguientes condiciones:

- Si un cubeto alberga más de un depósito, la capacidad máxima conjunta de los depósitos no deberá superar los  $270 \text{ m}^3$ , por lo que para el presente proyecto, con una capacidad conjunta de  $513 \text{ m}^3$ , se ha elegido la opción de dos cubetos con muro conjunto.
- En el interior de los cubetos se instalará, además de los depósitos, los vaporizadores y toda la instalación criogénica asociada.
- Los cubetos podrán ser barreras naturales, diques, muros de contención o una excavación en el terreno. En el presente proyecto el cubeto estará formado por muros de contención.
- Las paredes de los cubetos deberán estar como mínimo a 1,5 m de cualquier superficie latera o frontal.
- Al destinar un cubeto a cada depósito, el volumen de cada cubeto deberá ser el de la capacidad geométrica del depósito que alberga. En este caso ambos depósitos son iguales y de  $285 \text{ m}^3$  cada uno.
- En los posibles puntos en los que pueda haber derrame de GNL (Válvulas, bridas etc.) y que el vertido pueda salir del cubeto, la altura de la pared de éste deberá ser superior a 5 m y la altura de los mismos inferior a 1,5 m.
- Al superar la instalación los  $270 \text{ m}^3$  de capacidad conjunta, se instalará aguas abajo de la válvula manual de salida de fase líquida de cada depósito al cicuito de regasificación, una válvula criogénica con mando de apertura y cierre a distancia.

### 7.3 Distancias de seguridad

Las distancias de seguridad de las instalaciones de este tipo vienen definidas también por la Norma UNE 60210-2011. En ella se determinan las distancias de seguridad en función de la clasificación de plantas satélite.

Como ya se mencionó en el apartado 3.7, la clasificación que recibiría la planta objeto del proyecto sería de tipo F. En la Tabla 7-1 se puede observar las distintas distancias de seguridad para este tipo de instalación.

Si no fuera posible cumplir con dichas distancias, deberán justificarse todas las variaciones que se introduzcan y las medidas de otro orden que se tomen, como la instalación de pantallas que obliguen al gas a efectuar un recorrido igual o superior a las distancias exigidas en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Distancias de seguridad planta satélite tipo F

Distancias en m

Aberturas de inmuebles, sótanos, alcantarillas o desagües	25
Motores, interruptores, depósitos de materiales inflamables	15
Proyección líneas eléctricas	15
Límite de propiedad, vías públicas, carreteras, ferrocarriles, focos fijos de inflamación	35
Aberturas de edificios de pública concurrencia, uso administrativo, docente, hospitalario, etc.	60

FUENTE: (AENOR, 2011)

## 8 Bibliografía

- [1] Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (s.f.). *La industria del petróleo y del gas*. Obtenido de [http://www1.ypfb.gob.bo/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=84:ypfb-corporacion-general&id=134:la-industria-del-petroleo-y-del-gas](http://www1.ypfb.gob.bo/index.php?option=com_content&view=article&catid=84:ypfb-corporacion-general&id=134:la-industria-del-petroleo-y-del-gas)
- [2] AENOR. (Enero de 2011). *Norma española Plantas satélite de gas natural licuado (GNL)*. Obtenido de [http://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/une\\_602102011.pdf](http://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/une_602102011.pdf)
- [3] Asociación española del Gas. (2012-2013). *Especificaciones*. Obtenido de <http://www.sedigas.es/certificacion/pagina.php?p=352>
- [4] Chart-Ferox. (s.f.). *Chart-Ferox a.s.* Obtenido de [http://www.chartferox.com/Air\\_Gases/Mobile\\_Units/ISO\\_Containers.aspx](http://www.chartferox.com/Air_Gases/Mobile_Units/ISO_Containers.aspx)
- [5] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (18 de marzo de 2014). *Informe marco sobre la demanda de energía eléctrica y gas natural, y su cobertura. Horizonte 2013-2017*. Obtenido de [https://www.unionfenosagas.com/CarpetaCompartida/Clientes/Normativas/Informe\\_Marco\\_2013cnmc.pdf](https://www.unionfenosagas.com/CarpetaCompartida/Clientes/Normativas/Informe_Marco_2013cnmc.pdf)
- [6] CORES. (11 de Abril de 2014). *Consumos de gasolinas, gasóleos y fuelóleos por provincias y comunidades autónomas*. Obtenido de <http://www.cores.es/es/publicaciones>
- [7] Cryoquip. (s.f.). *cryoquip.com*. Obtenido de [http://cryoquip.com/wp-content/uploads/2014/07/Ambient\\_VAI800SXX.pdf](http://cryoquip.com/wp-content/uploads/2014/07/Ambient_VAI800SXX.pdf)
- [8] Cryoquip. (s.f.). *cryoquip.com*. Obtenido de [http://cryoquip.com/wp-content/uploads/2014/07/FuelFired\\_WCVWCVB.pdf](http://cryoquip.com/wp-content/uploads/2014/07/FuelFired_WCVWCVB.pdf)
- [9] Cryostar. (s.f.). *Cryostar Distribution*. Obtenido de <http://www.debenelux.com.ar/gestion/files/sdpd.pdf>
- [10] Enagas. (Noviembre de 2012). *Evolución del Mercado de GNL en el Mundo*. Obtenido de <http://www.proyectogesport.com/descargas/bloque2/mercadoIng.pdf>
- [11] Ferroli Industrial. (2014). *ferroli.es*. Obtenido de [http://www.ferroli.es/catalogos/catalogo\\_industrial\\_ferroli201482124831.pdf](http://www.ferroli.es/catalogos/catalogo_industrial_ferroli201482124831.pdf)
- [12] Gas Natural. (26 de marzo de 2003). *Ventajas Ambientales del gas natural en la generación eléctrica y en el sector industrial*. Obtenido de

- [http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Sevilla%20260303/VALLE\\_P4.pdf](http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Sevilla%20260303/VALLE_P4.pdf)
- [13] INIMO. (s.f.). *inimo.com*. Obtenido de <http://www.inimo.com/p3.htm>
- [14] Instituto Tecnológico de Canarias. (1 de septiembre de 2008). *zaragoza.es*. Obtenido de <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/S3-P2-Piernavieja-PPTACC.pdf>
- [15] La Nación. (11 de Mayo de 2013). *Nafta vs. diésel vs. GNC*. Obtenido de <http://www.lanacion.com.ar/1580632-nafta-vs-diesel-que-conviene-mas>
- [16] Lapesa. (s.f.). *Depósitos criogénicos Lapesa*. Obtenido de <http://www.lapesa.es/es/criogenicos.html>
- [17] *LNG Tainers*. (2014). Obtenido de <http://www.lngtainer.com/>
- [18] Merino, S. P. (s.f.). *upcommons*. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4908/4/03\\_Introducci%C3%B3.pdf](https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4908/4/03_Introducci%C3%B3.pdf)
- [19] Novagas Criogenia. (2012). *novagascriogenia.com*. Obtenido de <http://novagascriogenia.com/multimedia-3/laoreet-mattis-quam-4/>
- [20] Pure-process. (s.f.). *pure-process.com*. Obtenido de [http://www.pure-process.com/manguera\\_varias\\_1.html](http://www.pure-process.com/manguera_varias_1.html)
- [21] Wärtsilä Technical. (Enero de 2010). *LNGPac*. Obtenido de <http://www.google.com/url?url=http://www.wartsila.com/file/Wartsila/1278511890791a1267106724867-Wartsila-SP-A-Id-LNGPac.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=4azgU7TBHcmt0QX-xYH4Bw&ved=0CBoQFjAB&sig2=tVkgqkz23VgpDhMvMiRIQA&usg=AFQjCNFQ2hclkdvEP4-sBQrsB7VaVfXM>
- [22] Wärtsilä. (2013). *Wärtsilä containers LNGPAC ISO*. Obtenido de [http://www.wartsila.com/file/Wartsila/en/1278539407585a1267106724867-wartsila-o-gs-lngpac-iso.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=K5zkU5nOB8Sb0QXpxYCwAQ&ved=0CBQQFjAA&sig2=nfYILsRwXMgSJkKE5saVAQ&usg=AFQjCNGmVq5MM2kCaZxn9w\\_H4gZa](http://www.wartsila.com/file/Wartsila/en/1278539407585a1267106724867-wartsila-o-gs-lngpac-iso.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=K5zkU5nOB8Sb0QXpxYCwAQ&ved=0CBQQFjAA&sig2=nfYILsRwXMgSJkKE5saVAQ&usg=AFQjCNGmVq5MM2kCaZxn9w_H4gZa)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA  
Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE  
MINAS

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y  
COMBUSTIBLES

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”.

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

# 1 Introducción

Se realiza el presente estudio para analizar la viabilidad de instala la planta satélite en la isla de El Hierro.

## 2 Costes del proyecto

### 2.1 Consumos

Como se ha mencionado en la memoria, se han hecho unas estimaciones de la posible demanda de gas natural licuado que podría tener la planta:

- Consumo anual GNL buques: 4 940 m<sup>3</sup>
- Consumo anual GNL para regasificar: 13 189 m<sup>3</sup>
- Consumo anual total de GNL: 18 129 m<sup>3</sup>

A partir de este último dato se ha hallado el consumo de gas natural y el equivalente en MWh:

- Consumo anual de GN: 10 514 820 m<sup>3</sup>(n)
- Consumo energético anual: 91 269 MWh

### 2.2 Presupuesto de inversión

En la Tabla 2-1 se han considerado los precios de los distintos equipos y elementos que incorporaría la planta.

El coste total de los equipos ha sido triplicado para estimar el coste total de los equipos más su instalación, dando una cifra de 3 346 845 €

Tabla 2-1: Presupuesto equipos

Depósitos y circuitos asociados	290 949 €
Bombas criogénicas	213 200 €
Regasificador de descarga	3 000 €
Regasificadores atmosféricos	28 000 €
Regasificador agua caliente	19 600 €
Bombas agua caliente	6 508 €
Calderas	207 358 €
Odorizador	3 200 €
Estación regulación y medida	35 000 €
Equipos de control	10 800 €
Equipos eléctricos	10 000 €
Equipos de extinción de incendios	2 000 €
Tanques de transporte de GNL	286 000 €
<b>Coste de equipos</b>	<b>1 115 615 €</b>

### 2.3 Costes variables

- Coste de aprovisionamiento: A partir del dato de consumo energético anual presentado en el apartado 2 y considerando un precio de compra del GNL de 34 €/MWh, se ha estimado un coste de aprovisionamiento de 3 103 134 €/anuales.
- Coste de transporte de GNL: Para estimar el coste de transportar hasta la planta el GNL en barcos de contenedores, se ha tomado un precio medio de 22 €/m<sup>3</sup> transportado. Debiendo transportar 18 129 m<sup>3</sup> de GNL, el coste de transporte será de 398 838 €

### 2.4 Costes fijos

- Costes de mantenimiento y operación: Con el fin de determinar los costes de mantenimiento que tendría la planta se ha considerado un 5 % del coste final de presupuesto, resultando una cifra de 167 342 €/anuales.
- Costes de consumo eléctrico: Se han estimado los costes de consumo eléctrico de la planta como un 0,05 % del coste de aprovisionamiento, resultando una cifra de 1 552 €
- Coste de seguros: Se ha considerado para este coste un 0,07 % de los costes fijos, resultando una cifra de 1 182 €



### 3 Ingresos del proyecto

Para el cálculo de los ingresos se ha tomado un precio de venta del gas natural de 49,6 €/MWh. Se han calculado los siguientes ingresos por ventas:

- Ingresos de venta de GNL a barcos: 1 233 549 €
- Ingresos de venta de GNC a automoción y generación eléctrica: 3 293 376 €

### 4 Análisis del flujo de caja

Se ha realizado un estudio para determinar los flujos de caja acumulados con el fin de valorar la viabilidad de la inversión en este proyecto.

#### 4.1 Suposiciones realizadas para el estudio

Tabla 4-1: Suposiciones realizadas para el estudio económico

Impuesto de sociedades	30 %
Años amortización	20 años
Euros amortización lineal	167 342 €
IPC	3 %
Tasa de descuento	9 %

#### 4.2 Flujos de caja acumulados

Tras el cálculo de los flujos de caja correspondientes a cada uno de los 20 años de vida supuestos para la instalación, se han determinado los flujos de caja acumulados, como se puede ver en el anexo.

También se ha procedido al cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y del valor actual neto (VAN).

#### 4.3 Conclusiones

- Del análisis de los flujos de caja acumulados se deduce un periodo de retorno de 6 años, es decir, que hasta el sexto año no se recuperaría la inversión inicial.

- La tasa interna de retorno (TIR), ha resultado ser del 20 %. Al ser esta cifra mayor que la tasa de descuento (9 %), se puede considerar que la instalación de la planta satélite en la isla de El Hierro es recomendable, ya que generaría ingresos extra al inversor.
- El índice de valor actual neto (VAN) es positivo, concretamente de 3 178 364 €, lo que indica que la posible ejecución del presente proyecto generaría beneficios significativos.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA  
Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE  
MINAS

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y  
COMBUSTIBLES

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”.

DOCUMENTO N° 3: ANEXOS

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”

ANEXO 1: SELECCIÓN DE TUBERÍAS

$$e = \frac{p \cdot D_e}{2 \cdot S \cdot a} = \frac{p \cdot D_i}{2 \cdot (S \cdot a - p)}$$

$$e_c = \frac{P \times d}{20 \times \sigma_e \times F \times C}$$

$$D(mm) = 18,8 \sqrt{\frac{Q(m^3 / h)}{v(m / s)}}$$

$$D^2 = \frac{353,68 \cdot Q \cdot Z_m}{P_m \cdot v}$$

Datos entrada	
P. máx. de servicio GNL (bar r)	7
P. máx. de servicio GNC (bar r)	250
Caudal máximo GNL	32 m3/h
Caudal máximo GNC	1227,18333 m3 (n) /h
Velocidad GNL	1,5 m/s
Velocidad GNC	7 m/s

Factor compr	1	Coef. Categ. Emplaz (F)	0,4
Pres media	183,48624 kg/cm2	Factor de eficiencia (C)	1
		a	1
		Límite elástico	
		kg/cm²	2950
		N/mm²	295

D. Nominal (")	D. Exterior (mm)
1	33,4
1 1/2	48,26
2	60,32
2 1/2	73,02
3	88,9
4	114,3
5	141,3
6	168,27
8	219,07
10	273,05
12	323,85
14	355,6

Diámetro GNL en primera aproximación	86,8334805 mm	3,41864096 "
Diámetro GNC en primera aproximación	18,382696 mm	0,72372819 "

Espesor GNL	Espesor GNC
0,188	3,538 mm

Espesor mínimo
4 mm

Elección espesor GNL	4 mm
Elección espesor GNC	4 mm

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”

ANEXO 2: ESTUDIO ECONÓMICO

## Estudio económico

0,0037854	m3/gallon
1,37	\$/€

Consumo Barcos (GNL)	4.940 m3
Consumo Automoción y térmica (GNC)	13.189 m3
Consumo Barcos (GNL)	2.865.200 m3 (n)
Consumo Automoción y térmica (GNC)	7.649.620 m3 (n)
Consumo Barcos (GNL)	24.870 MWh
Consumo Automoción y térmica (GNC)	66.399 MWh

Consumo GNL total	18.129 m3/año
Consumo GN total	10.514.820 m3 (n)/año
	91.269 MWh/año

	GN	
PCI	12,4	kWh/kg
Densidad	0,7	kg/m3(n)
Precio compra	34	Euro/MWh
Precio venta	49,6	Euro/MWh
Precio transporte	22	Euro/m3

### Inversion

Depósitos y asociados	290.949
Bombas criogénicas	213.200
Regasificador descarga	3.000
Regasificadores atmosféricos	28.000
Regasificador agua caliente	19.600
Bombas agua caliente	6.508
Calderas	207.358
Odorizador	3.200
Estación regulación y medida	35.000
Equipos de control	10.800
Equipos eléctricos	10.000
Equipos contra incendios	2.000
Tanques de transporte de GNL	286.000
SUMA equipos	1.115.615 Euros

Coste equipos+instalación	3.346.845 Euros
---------------------------	-----------------

### Costes Fijos

Mantenimiento	167.342 Euros
Consumo eléctrico	1.552 Euros
Seguro	1.182 Euros

### Costes variables

Coste aprovisionamiento	3.103.134 Euros
Coste transporte GNL	398.838 Euros

### Ingresos anuales

Ingresos GNL Barcos	1.233.549 Euros
Ingresos GNC A+T	3.293.376 Euros

# Flujo de caja

Suposiciones realizadas para el estudio económico.

30% Impuesto de sociedades  
20 años amortización  
167.342 Euros. Amortización lineal  
3% IPC  
9% Tasa de descuento

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-3.346.845										
Costes anuales		-3.672.048	-3.782.209	-3.895.675	-4.012.546	-4.132.922	-4.256.910	-4.384.617	-4.516.156	-4.651.640	-4.791.189
Ingresos anuales		4.526.924	4.662.732	4.802.614	4.946.693	5.095.093	5.247.946	5.405.385	5.567.546	5.734.572	5.906.610
Beneficio bruto		854.877	880.523	906.939	934.147	962.171	991.036	1.020.767	1.051.390	1.082.932	1.115.420
Amortización		167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342
BAIT		687.534	713.181	739.596	766.805	794.829	823.694	853.425	884.048	915.590	948.078
Impuesto de sociedades		240.637	249.613	258.859	268.382	278.190	288.293	298.699	309.417	320.456	331.827
<b>Flujo de caja</b>	<b>-3.346.845</b>	<b>614.240</b>	<b>630.910</b>	<b>648.080</b>	<b>665.765</b>	<b>683.981</b>	<b>702.743</b>	<b>722.069</b>	<b>741.974</b>	<b>762.476</b>	<b>783.593</b>
Flujo de caja acumulado	-3.346.845	-2.732.605	-2.101.696	-1.453.616	-787.851	-103.869	598.874	1.320.943	2.062.916	2.825.392	3.608.985

Año	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Inversión										
Costes anuales	-4.934.925	-5.082.973	-5.235.462	-5.392.526	-5.554.302	-5.720.931	-5.892.559	-6.069.335	-6.251.415	-6.438.958
Ingresos anuales	6.083.808	6.266.322	6.454.312	6.647.941	6.847.379	7.052.801	7.264.385	7.482.316	7.706.786	7.937.989
Beneficio bruto	1.148.883	1.183.349	1.218.850	1.255.415	1.293.078	1.331.870	1.371.826	1.412.981	1.455.370	1.499.031
Amortización	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342	167.342
BAIT	981.541	1.016.007	1.051.507	1.088.073	1.125.735	1.164.528	1.204.484	1.245.639	1.288.028	1.331.689
Impuesto de sociedades	343.539	355.602	368.028	380.826	394.007	407.585	421.569	435.974	450.810	466.091
<b>Flujo de caja</b>	<b>805.344</b>	<b>827.747</b>	<b>850.822</b>	<b>874.590</b>	<b>899.070</b>	<b>924.285</b>	<b>950.257</b>	<b>977.007</b>	<b>1.004.560</b>	<b>1.032.940</b>
Flujo de caja acumulado	4.414.328	5.242.075	6.092.897	6.967.487	7.866.557	8.790.843	9.741.099	10.718.107	11.722.667	12.755.607

Periodo de retorno **6 años.** (primer año en que el flujo de caja acumulado es positivo)  
TIR **20%**  
VAN **3.178.364**



Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”

**ANEXO 3: HOJAS DE DATOS DE EQUIPOS**

# Hojas de datos de equipos

## **1 Depósito criogénicos**

# lapesa

DEPÓSITOS **CRIOGÉNICOS**

## CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Temperatura de diseño GNL -196°C
- Directiva Europea 97/23/CE.
- Marcado CE.
- ASME VIII div. 1
- Marcado ASME.
- Depósito interior: acero inox. austenítico.
- Depósito exterior: acero carbono.
- Cámara intermedia con aislante y vacío.

## CARACTERÍSTICAS DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO (DEPÓSITO INTERIOR)

- Construido en acero inoxidable austenítico.
- Presión de trabajo: 5 bar, 9 bar (otros bajo pedido)

## CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE (DEPÓSITO EXTERIOR Y CÁMARA ENVOLVENTE)

- Construido en acero al carbono (zonas de paso de tubos en acero inoxidable austenítico)
- Protección contra sobrepresión en la cámara.
- Con conexión para medición de vacío.
- Vacío absoluto admisible en cámara.

## DEPÓSITOS SERIE 4200 V

MODELOS	LC195V	LC240V	LC285V	LC307V	LC318V
Volumen (m³)	195	240	285	307	318
L (mm)	19.660	23.660	27.660	29.660	30.661
Tara aprox. (Tn) para 5 bar	47,0	55,7	64,3	68,7	71,1

### DATOS PARA GNL

Masa de líquido almacenado al 95% (Tn)	85,2	104,9	124,5	134,2	139,0
Elevador de presión PPR para consumo de GN (Nm³/h)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

\*Modelo seleccionado: LC285V

# Hojas de datos de equipos

## **2 Bombas criogénicas**



## Indice Técnico

### ★ Referencia

SDPD 22 ou 30 / 20 ou 32  
(modelo) (pistón Ø en mm) (pistón carrera en mm)

Aplicaciones	Para llenado de cilindros y pulmones de reserva, a partir de tanques criogénicos
Líquidos bombeados	LOX, LIN, LAr, LCO <sub>2</sub> , LN <sub>2</sub> O, LNG
Tipo de parte motriz	Extremo caliente lubricado con grasa
Presión de diseño 22/20	420 bar estándar (6100 PSI)
Presión de diseño 30/32	420 bar estándar (6100 PSI)

### ★ Procedimiento de pruebas

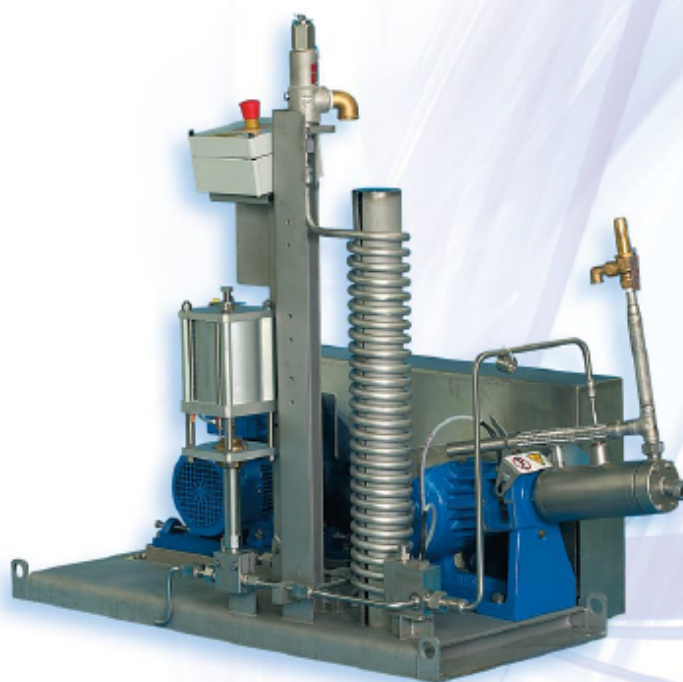
Cada bomba fabricada por CRYOSTAR es probada mecánica y criogénicamente antes de su envío, en nuestras instalaciones especiales, para asegurarnos de que su desempeño corresponda a las especificaciones dadas por el cliente.

La precisión de los dispositivos de medición suministra los resultados esenciales: cabeza diferencial, flujo, consumo de gas de sello, eficiencia de la bomba, NPSH, niveles de ruido y de vibración; todos documentados y enviados al cliente.

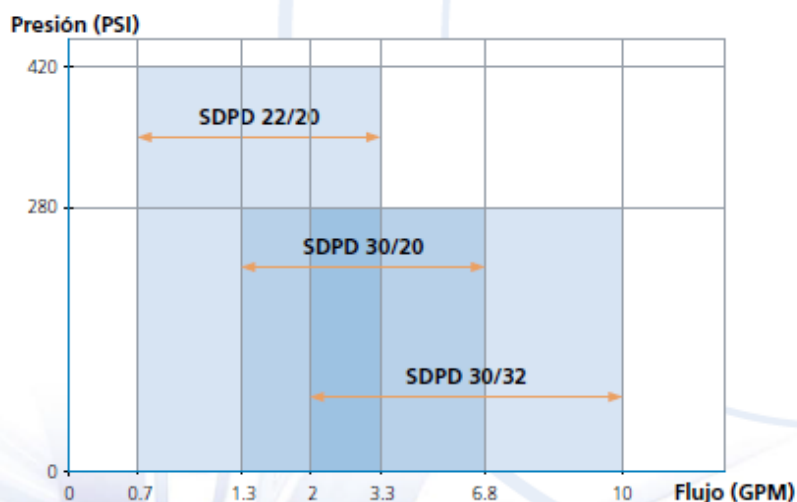
### ★ Normas de calidad

Diseño en concordancia con las normas IGC 11/82 norm

## SDPD Bomba Alternativa



### ★ Desempeño



## Hojas de datos de equipos

### **3 Regasificadores atmosférico y de agua caliente**



## Alpine Ambient Air Vaporizers

### VAI 800 SXX Series

(High Pressure)

#### Common Sizes & Performance\*

Model	8-hour Nominal N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> Flow Rate (For LNG use x0.75 Multiplier)		Intermittent Cylinder Filling O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> Flow Rate (For LNG use x0.75 Multiplier)		Surface Area		Dimensions L x W x H		Dry Weight	
	(SCFH)	(Nm <sup>3</sup> /hr.)	(SCFH)	(Nm <sup>3</sup> /hr.)	(Ft <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(in)	(m)	(lbs.)	(kg)
VAI-806-XXL10	3,000	79	4,000	1,048	300	279	24 x 35 x 162	0.6 x 0.9 x 4.2	216	98
VAI-806-XXL15	5,000	131	6,000	1,572	450	418	24 x 35 x 222	0.6 x 0.9 x 5.7	324	147
VAI-808-XXL15	6,000	157	7,200	1,886	600	557	35 x 46 x 222	0.9 x 1.2 x 5.7	432	196
VAI-810-XXL15	7,500	197	9,000	2,358	750	697	35 x 57 x 222	0.9 x 1.5 x 5.7	540	245
VAI-812-XXL15	10,000	262	12,000	3,144	900	836	35 x 46 x 222	0.9 x 1.2 x 5.7	648	294
VAI-816-XXL15	12,500	328	15,000	3,930	1200	1115	46 x 46 x 222	1.2 x 1.2 x 5.7	864	392
VAI-816-XXL20	17,000	445	20,000	5,240	1600	1486	46 x 46 x 282	1.2 x 1.2 x 7.2	1152	523
VAI-820-XXL20	20,000	524	24,000	6,288	2000	1858	46 x 57 x 282	1.2 x 1.5 x 7.2	1440	654
VAI-824-XXL20	24,000	629	28,000	7,336	2400	2230	46 x 69 x 282	1.2 x 1.8 x 7.2	1728	785
VAI-830-XXL20	32,000	838	38,000	9,956	3000	2787	57 x 69 x 282	1.5 x 1.8 x 7.2	2160	981
VAI-836-XXL23	43,000	1,127	50,000	13,100	4140	3846	69 x 69 x 318	1.8 x 1.8 x 8.1	2981	1353

\*Modelo seleccionado: VAI-836-XXL23

#### Flowrate Capacities, Ratings, Power Requirements, and Pad Dimensions

System Model	Oxygen Capacity (SCFH & Nm <sup>3</sup> /hr.)	Pump Motor (HP & kW)	Ballast Tank Volume (Gallons & Liters)	Vaporizer Skid Dim. (Feet & Meters)			# of heaters	Total Natural Gas Req'd (SCFH & Nm <sup>3</sup> /hr.)	Total Heater Pad Space (Feet & Meters)		
WCV 2500	100,000 2630	5 3.8	360 1360	L	25	7.6	1	2,500 66	L	10	3
				W	6	1.8			W	8	2.4
				H	7	2.1			H	7	2.1
WCV 6000	250,000 6570	7.5 5.6	1000 3790	L	26	7.9	1	6,000 158	L	14	4.3
				W	8	2.4			W	10	3
				H	9	2.7			H	9	2.7
WCV 8500	350,000 9200	10 7.5	1000 3790	L	27	8.2	1	8,500 223	L	17	5.2
				W	9	2.7			W	10	3
				H	9	2.7			H	9	2.7
WCV 12500	500,000 13150	15 11.2	1500 5680	L	29	8.8	1	12,500 329	L	19	5.8
				W	9	2.7			W	12	3.7
				H	9	2.7			H	10	3
WCV 15000	650,000 17090	20 14.9	2000 7570	L	30	9.1	1	15,000 394	L	22	6.7
				W	10	3			W	12	3.7
				H	9	2.7			H	10	3
WCV 18000	750,000 19720	25 18.7	2000 7570	L	33	10	1	18,000 473	L	20	6.1
				W	10	3			W	12	3.7
				H	9	2.7			H	14	4.3
WCV 12000-2	1,000,000 26290	30 22.4	2600 9850	L	35	10.7	2	24,000 631	L	18	5.5
				W	10	3			W	26	7.9
				H	9	2.7			H	10	3

\*Modelo seleccionado: WCV 2500

# Hojas de datos de equipos

## **4 Calderas**

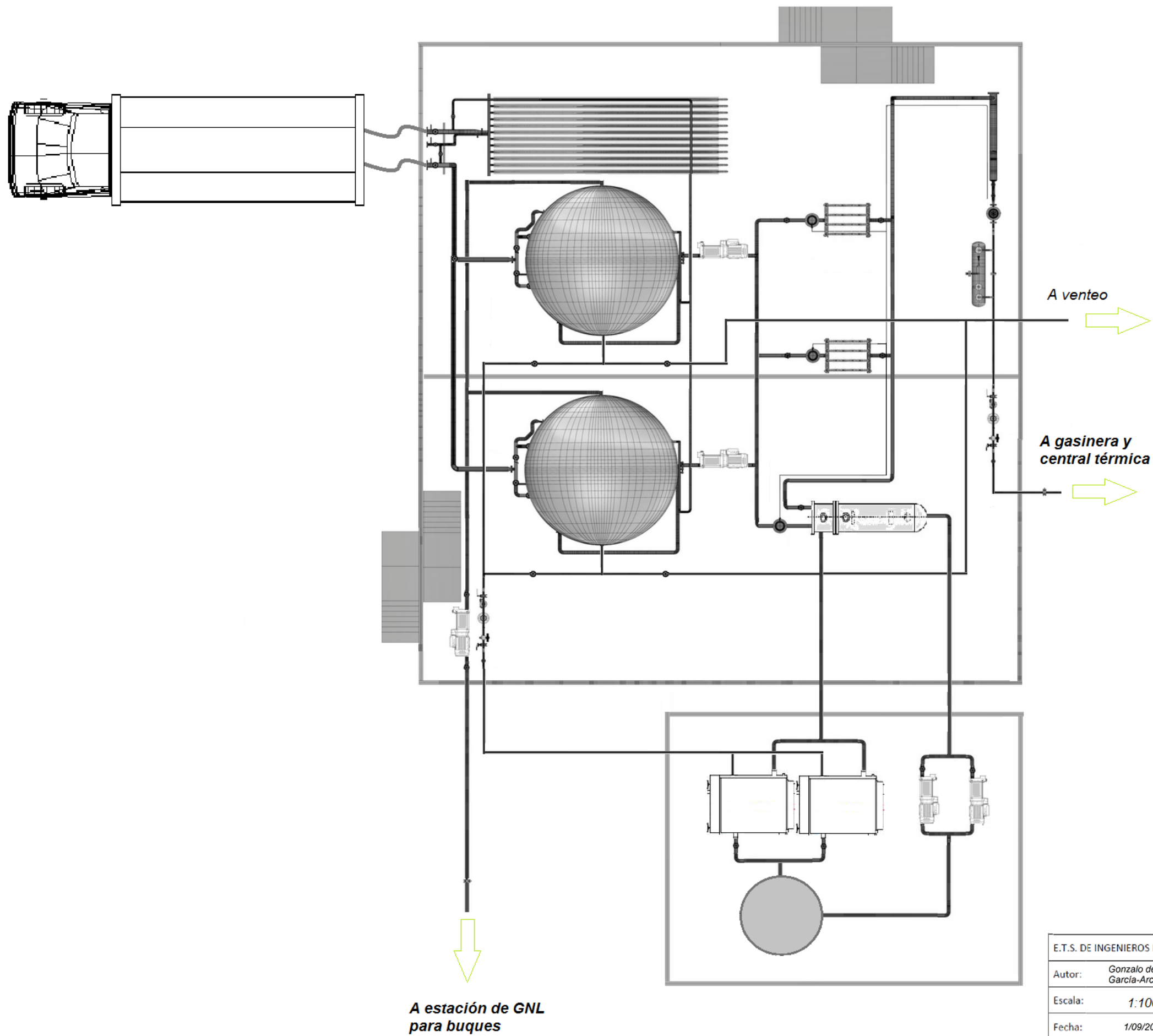




<b>RSW</b>		<b>525</b>	
Gasto calorífico sobre P.C.I	Min	kW	417
	Máx	kW	567
Potencia útil	Min	kW	341
	Máx	kW	525
<b>Rendimiento útil</b>	<b>100% Pot. máx.</b>		<b>92,50</b>
	<b>30% Pot. máx.</b>		<b>94,15</b>
Capacidad total de la caldera		litros	405
Pérdidas de carga	10°C ΔT	mbar	40
lado de agua	15°C ΔT	mbar	22
	20°C ΔT	mbar	12
Pérdidas de carga lado de humos		mbar	4,3
Presión máxima de ejercicio		bar	6
Peso en seco		kg	860
Conexiones	T1-T2 UNI 2278 PN16	DN	80
	T3	DN	2"
	T4	DN	3/4"
	T5	Øext.mm	250
Medidas	A	mm	1050
	B	mm	1534
	C	mm	1185
	D	mm	162
	E	mm	253
	F	mm	143
	G	mm	725
	H	mm	518
	I	mm	1930
	L	mm	205
	L1	mm	155
	M*	mm	1250
	N	mm	228
	O	mm	380
	P	mm	600
	Q*	mm	1000
	R*	mm	1492
<b>CÓDIGO</b>			<b>1A/005251</b>

Planta satélite de GNL adaptada “El Hierro  
100% renovable”

ANEXO 4: PLANOS



E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS

Autor: Gonzalo de la Peña  
García-Arcicollar

Escala: 1:100

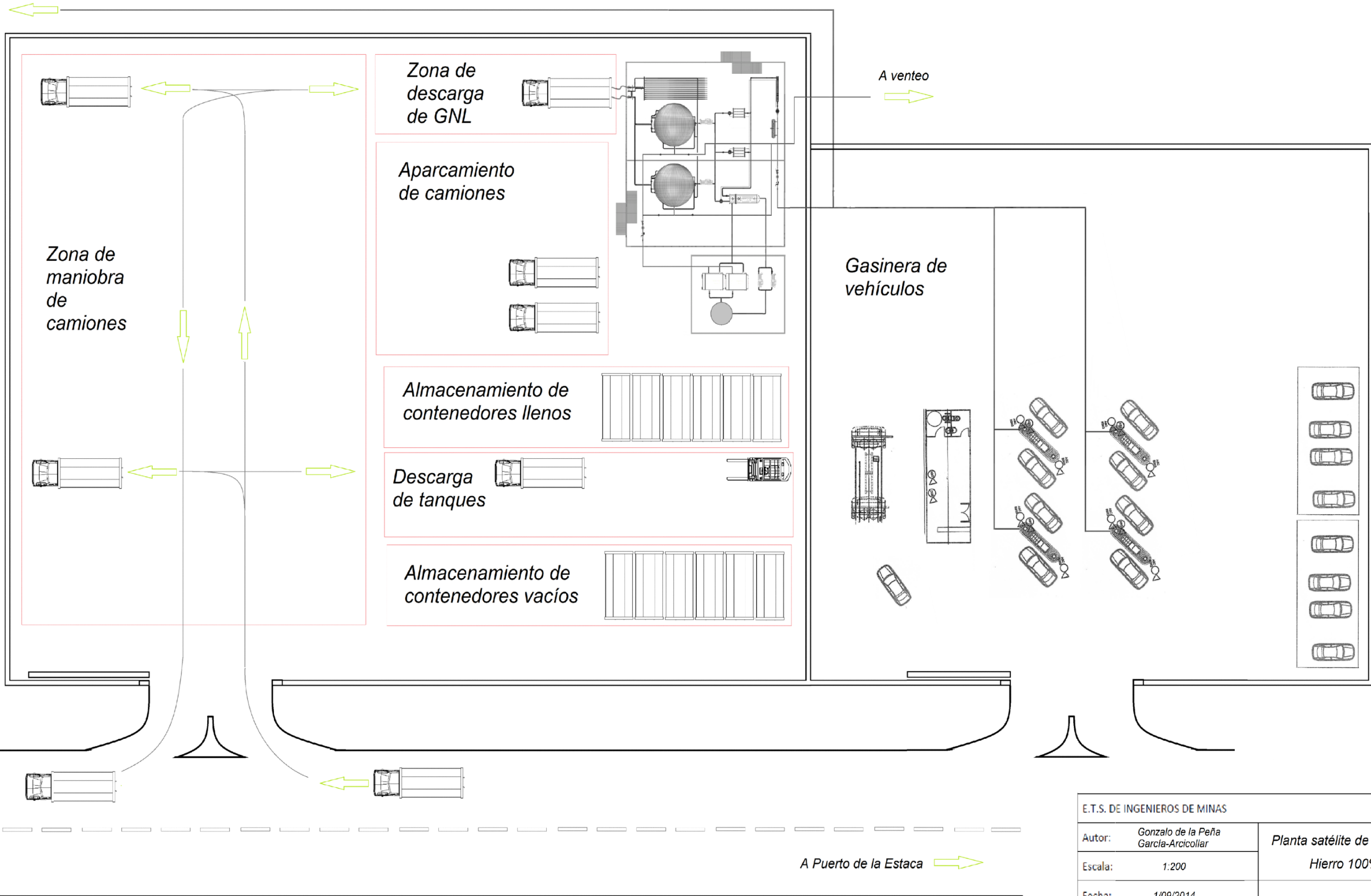
Fecha: 1/09/2014

Nº de Plano: 1

Planta satélite de GNL adaptada a "El  
Hierro 100% renovable".

Plano de planta

A central térmica



E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS

Autor: Gonzalo de la Peña  
García-Arcicollár

Escala: 1:200

Fecha: 1/09/2014

Nº de Plano: 2

Planta satélite de GNL adaptada a "El  
Hierro 100% renovable".

Plano de Implantación





E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS		
Autor:	Gonzalo de la Peña García-Arcicollar	Planta satélite de GNL adaptada a "El Hierro 100% renovable".
Escala:	-	
Fecha:	1/09/2014	Plano de situación
Nº de Plano:	3	